

Iiro Hanhisalo

Ajovalotestauspöydän suunnittelu ja valmistus ajovalomittauksia varten

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Iiro Hanhisalo

Työn nimi: Ajovalojentestauspöydän suunnittelu ja valmistus ajovalomittauksia varten

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 98

Liitteiden lukumäärä: 9

Tämä opinnäytetyö on kehitetty SeAMK autolaboratorion kanssa. Autolaboratorio on nähnyt tarpeelliseksi parannella ajovalojen tutkimista varten olevaa ajovalojen testauspöytää, jotta ajovalot saataisiin yhdeksi osaksi laboratoriotöitä. Tarkoitus on suunnitella ja valmistaa testauksiin paremmin soveltuva testauspöytä, johon on mahdollista kiinnittää minkä tahansa ajoneuvon ajovalo. Pöydässä on tarkoitus olla valmiina 12 voltin sähköjärjestelmä helppoa ajovalon/ajovalopolttimoiden vaihtoa varten. Testauspöydän on oltava myös sopivan korkuinen mahdollisia laboratoriomittauksia varten, virallisia ECE-normeja mukaillen. ECE-normit ovat muuttuneet vuosien varrella muutamiin otteisiin, varsinkin nykyaikaisten LED-ajovalojen johdosta ja tässä työssä on tarkoitus perehtyä uusimpien normien mukaisiin mittauksiin.

Lopputuloksena saatiin aikaan mittauksiin soveltuva ajovalojentestauspöytä, jolla on mahdollista toteuttaa ajovalojen mittaukset lyhyemmällä etäisyydellä, kuin ECE-normissa on määritetty. Lyhyempää etäisyyttä varten luotiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmalla muuntimet, jotka muuttavat normin määrittelemät etäisyydet, mittauspisteet ja valovoimat lyhyemmän etäisyyden mukaan. Ajankuulumien vuoksi mittauksia tässä työssä ei tultu toteuttamaan, mutta tämä työ mahdollistaa mittausten toteuttamisen tulevaisuudessa.

Avainsanat: LED, laser, ADAS, ajovalotestauspöytä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Iiro Hanhisalo

Title of thesis: Planning and Making of a Headlight Testing Table for Headlight measuring

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2018

Number of pages: 98

Number of appendices: 9

This thesis was developed in collaboration with the automotive laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. The automotive laboratory had found it necessary to improve the testing-table used to test automobile headlights, in order to include headlights as one theme in the laboratory projects. The purpose was to plan and manufacture a testing-table better suited for tests, and on which it would be possible to attach any automobile headlights. A 12 volt electric system had to be installed to facilitate the change of the headlight or headlight bulbs. The testing-table also had to be sufficiently high for possible laboratory measurements, and in accordance with official ECE norms. In the recent years, ECE norms have changed on numerous occasions, particularly due to the current LED-headlights, and the purpose of this work was to become more acquainted with the newest normative measures.

As a result, a headlight-testing table suitable for making measurements was conceived. With this table it is possible to measure even shorter distances, than required by the ECE norms. For shorter distances, a Microsoft Excel spreadsheet was made, which converts the norm-defined distances, measurement points and luminous intensity suitable for shorter distances. Due to a lack of time, actual measurements were not carried out in this study, but this thesis makes it possible to carry out such measurements in the future.

Keywords: LED, laser, ADAS, a headlight testing table

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite	10
1.3 Työn rakenne	11
1.4 Työn tilaaja(t)	11
2 VALOTEKNISET KÄSITTEET JA MITTAYKSIKÖT	12
2.1 Fotometria	12
2.2 Avaruuskulma	14
2.3 Intensiteetti.....	15
2.4 Valovirta	16
2.5 Valotehokkuus.....	17
2.6 Valaistusvoimakkuus.....	17
2.7 Luminanssi	19
2.8 Värilämpötila	19
3 LED-VALOTEKNIikka.....	21
3.1 LED	21
3.2 LED ajovalotekniikassa	23
4 LASERVALOTEKNIikka	25
4.1 Laserin perusteet	25
4.2 Laserin toiminta.....	29
4.3 Laser ajovalotekniikassa	32
5 ADAS-JÄRJESTELMÄ.....	36
5.1 Kalibrointi ja suuntaus	36
6 AJOVALOJEN MITTAUSMENETELMÄT	42

6.1 Mittauskuviot	42
6.2 ECE-R112.....	42
6.3 ECE-R98.....	49
7 AJOVALOTESTAUSPÖYDÄN VALMISTUS	54
7.1 Ajovalotestauspöytä.....	54
7.2 Sähköistys.....	55
8 AJOVALOJEN MITTAUS	58
9 YHTEENVETO.....	66
LÄHTEET	72
LIITTEET	76

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Valon taittuminen prismasta.....	14
Kuva 2. Audi A8 Matrix LED -ajovalon rakennekuva.....	24
Kuva 3. BMW i8-mallin ensimmäinen laservalokonsepti.....	33
Kuva 4. BMW i8-mallin laserkaukovalon rakennekuva	34
Kuva 5. Audin konseptilaser	34
Kuva 6. Audi R8 LMX laserkaukovalon rakennekuva	35
Kuva 7. Audi A8 D4 -ajovalo	37
Kuva 8. Maha MLT 3000 -ajovalojen suuntauslaite	39
Kuva 9. Esimerkkejä erilaisista ADAS-kalibrointi tunnistinkuvioista Texan järjestelmässä	41
Kuva 10. Ajovalontestauspöytä Solid Edgellä piirrettynä	55
Kuva 11. Ajovalotestauspöytä toiminnassa.....	60
Kuva 12. Mittausympäristön malli	61
Kuva 13. Audi 100-mallin ajovaloumpio	62
Kuva 14. Valaistava seinä mittauspisteineen (ECE-R112)	63
Kuva 15. Ajovalojentestauspöytä valmistettuna	67
Kuva 16. Ajovalotestauspöytä.....	68
Kuva 17. Ajovalotestauspöytä 2.....	69
Kuva 18. Ajovalotestauspöydän sähköjärjestelmä	70

Kuvio 1. Silmän spektriherkkyys	13
Kuvio 2. Näkyvän valon aallonpituudet silmän havaitsemina väreinä.	14
Kuvio 3. Avaruuskulma	15
Kuvio 4. Värilämpötila	20
Kuvio 5. Perinteisen hohtodiodin rakenne.....	21
Kuvio 6. Pintaliitos hohtodiodin rakenne	21
Kuvio 7. Sähkömagneettisen säteilyn ja materian vuorovaikutus.....	27
Kuvio 8. He-Ne-laserin oleelliset energiatasot	28
Kuvio 9. Lasertoiminnalle oleelliset atomien energiatasot.....	30
Kuvio 10. Fotonipopulaation kasvu resonaattorissa	31
Kuvio 11. ADAS-järjestelmä.....	36
Kuvio 12. Havainnollistamiskuvio kulmakoordinaatin muuttamisesta mittayksiköksi	43
Kuvio 13. Suuntauskuvio	45
Kuvio 14. ECE-R112rev3 mittauskuvio	45
Kuvio 15. ECE-R98-mittauskuvio.....	50
Kuvio 16. ECE-R98-normin kaukovalon mittauskuvio.....	51
Kuvio 17. Lyhyen ajovalon, parkkipolttimon ja päivävalon kytkentäkaavio.....	56
Kuvio 18. Kaukovalon ja lisävalon kytkentäkaavio	57
Kuvio 19. Suuntavalon kytkentäkaavio	57
Kuvio 20. Havainnollistamiskuva umpion sijoittamisesta tietylle etäisyydelle	62

Taulukko 1. ECE-R112rev3-mittaustaulukko	46
Taulukko 2. ECE-R112rev3-mittaustaulukko 2	47
Taulukko 3. ECE-R112rev3-mittaustaulukko 3	48
Taulukko 4. ECE-R98-mittaustaulukko 1	52
Taulukko 5. ECE-R98-mittaustaulukko 2	53

Käytetyt termit ja lyhenteet

LED	Light-Emitting Diode, eli valodiodi/hohtodiodi
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
CCT	Correlated Colour Temperature, eli ekvivalenttinen värilämpötila
ADAS	Advanced Driver Assistance System
nm	Nanometri
sr	Steradiaani

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

SeAMK laboratorio on esittänyt toiveen autolaboratorion ajovalotestauspöydän kehittämiseksi. Lisäksi laboratorio haluaa lisätietoa uudemmassa ajovalotekniikasta uudenaikaisten LED- ja laservalotekniikan johdosta. Ajovalotestauksessa on tarkoitus luoda toimiva laboratoriotyö opiskelijoille valotekniikasta, missä päästään tutkimaan eri valaisinratkaisujen tehokkuutta ja toimintaa. Laboratoriolla on eräänlainen valaisinpöytä jo entuudestaan, mutta se on osoittautunut turhan raskasrakenteiseksi. Laboratoriotiloissa on valaisintekniikan testaukseen hyvin rajalliset testausolosuhteet, joten valaisintestauspöydän olisi oltava helpommin siirreltävissä. Siirreltävyyden etuna on, että laitteisto voidaan siirtää esimerkiksi toiseen rakennukseen, jossa on testauksiin soveltuvammat olosuhteet.

Pöytä suunnitellaan mittauksia varten, joissa on mahdollista testata ajovalojen valokuvion, valotehon ja hajavalon muodostumisen ajovalon kunnon perusteella tai ajovaloon asennetun muutossarjan vaikutuksesta. ECE-normien valtavien etäisyyksien myötä, työssä on esitelty muunnostaulukot, joiden avulla voidaan testaukseen vaadittavaa etäisyyttä lyhentää, mahdollistaen testausympäristön toteuttamisen pienemmällä mittakaavalla. Mittauksia ei tulla työssä toteuttamaan ajanpuutteen vuoksi, mutta työ opastaa miten mittaukset voidaan toteuttaa.

1.2 Työn tavoite

Tavoitteena on suunnitella ja valmistaa olosuhteisiin nähden toimiva ajovalotestauspöytä SeAMK autolaboratoriolle opiskelijoiden käyttöön. Pöytä on suunniteltava niin, että siihen voidaan kiinnittää erilaisia ajoneuvojen valaisimia, lisäksi pitää olla mahdollisuus helppoon siirreltävyyteen. Lisäksi pöydän on tarkoitus olla soveltuva myös muihin laboratoriolla tehtäviin ajovaloihin liittyviin tutkimuksiin.

1.3 Työn rakenne

Työssä lähdetään tarkastelemaan ensin valoteknistä termistöä, minkä avulla valolähteen ominaisuuksia voidaan arvioida ja vertailla. Lisäksi kerrotaan LED- ja laservalotekniikan perusteista, toimintaperiaatteista ja sovellutuksista ajoneuvoissa. Malliksi otetaan muutama eri ajoneuvovalmistajan toteutustapa omiin ajoneuvomalleihinsa.

LED- ja laservalotekniikka lukeutuu kokonaan adaptiiviseen ajovalojärjestelmään, joten nykyaikainen adaptiivinen ajovalotekniikka osittain sivuaa myös ajoneuvoissa käytettävää kamera- ja tutkajärjestelmää. Tästä ns. ADAS-järjestelmästä kerrotaan lyhyesti myös omassa osiossaan. LED-ajovalojen yleistyessä ajoneuvoissa, on niille myös kehitelty oma suuntaus- ja kalibrointijärjestelmänsä, joita tullaan myös esittelemään tässä työssä.

Loppuun kerrotaan ajovalotestauspöydän valmistusprosessista, sekä mittauksia varten suunnitelluista taulukoista, jotka muuntavat ECE-normien mukaiset mittausetäisyydet ja -arvot lyhyemmälle etäisyydelle, helpottaen mittausten toteuttamista pienemmässä mittakaavassa. Lisäksi on ohjeistus miten mittaukset tulitaisiin toteuttamaan.

1.4 Työn tilaaja(t)

Tämän työn tilaaja on SeAMK autolaboratorio.

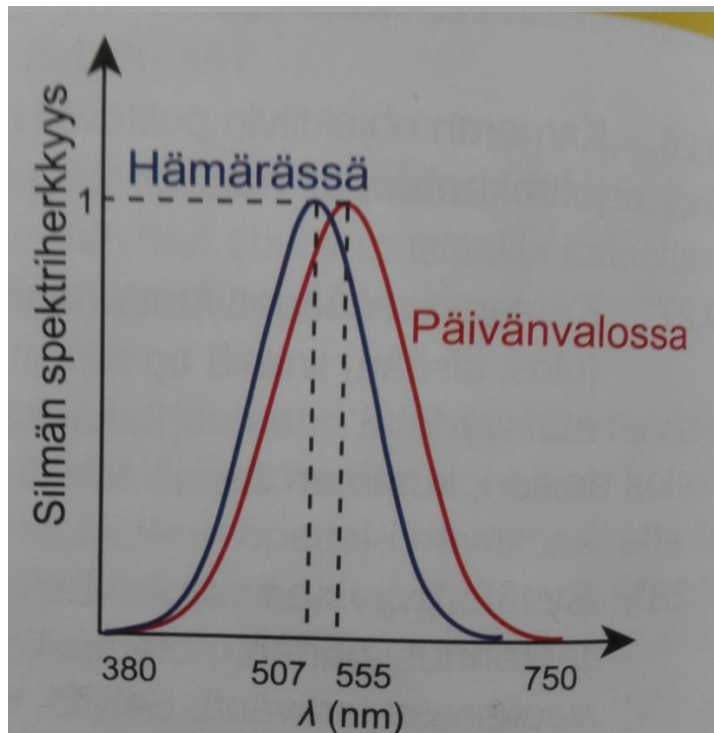
SeAMK autolaboratorio on Seinäjoen ammattikorkeakoulun konetekniikan insinööriopiskelijoille suunnattu laboratorio, jossa päästään tutkimaan useita eri osa-alueita auto-, sekä työkonetekniikasta. Laboratoriossa on kattavat nykyaikaiset testilaitteet useisiin eri toimenpiteisiin, unohtamatta myös muutamaa vanhempaa laitteistoa, joilla opetus voidaan toteuttaa kattavammin ja opettavaisemmin niiden sisältämän vähäisen automatiikan johdosta.

2 VALOTEKNISET KÄSITTEET JA MITTAYKSIKÖT

2.1 Fotometria

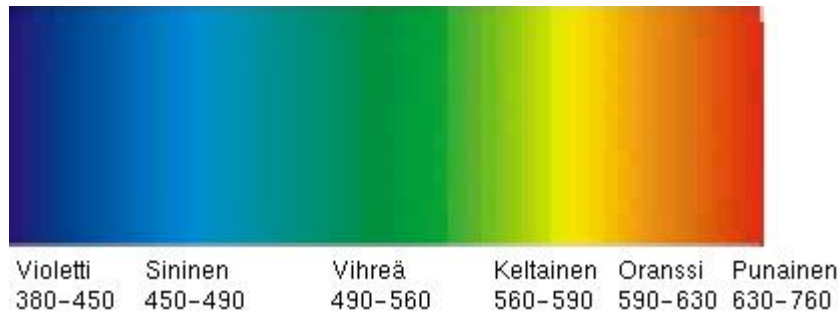
Silmän herkkyys on erilainen valoisassa ja hämärässä. Lisäksi silmällä on ominaisuus erilaisiin herkkyyksiin erisävyisille valoille. Näköhavainnon voimakkuus riippuu valon määrästä ja valon aallonpituudesta. Fotometria käsittelee jälkeenpäin mainittuja suureita ottaen huomioon silmän erilaisen herkkyyden eri aallonpituiselle valolle. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 254.)

Näkyvän valon aallonpituuksien 380 ... 750 nm:n ääripäissä silmä on vähiten herkkä, kun taas hyvässä valaistuksessa silmä on herkin valolle, jonka aallonpituus on 555 nm. Hämärässä silmä on herkin tästä noin 50 nm lyhyemmällä aallonpituudella. Kuviossa 1 päivänvalolla aallonpituuden 555 nm:n kohdalla silmän spektriherkkyys on 1 ja kuviosta huomaa, että muilla aallonpituuksilla spektriherkkyys heikkenee. Tämä tarkoittaa sitä, että pienemmillä spektriherkkyyksillä tarvitaan suurempi säteilyteho tuottamaan yhtä voimakas näköaistimus kuin pienellä määrällä aallonpituudeltaan 555 nm olevaa valoa. Kyseinen 555 nm:n aallonpituuksinen valo on kellanvihreän sävyinen ja tästä syystä esimerkiksi huomioliivitysten väritys on kyseisen värinen. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 254.)



Kuvio 1. Silmän spektriherkkyys
(Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012)

Sähkömagneettisen säteilyn jakautumista eri lajeihin kutsutaan spektriksi. Spektri (ts. kirjo) voidaan havaita valon kuljettua prisman tai hilan lävitse (kuva 1), jolloin valon eri aallonpituudet taittuvat eri tavoin ja näkyvät eri värisinä. Lyhytaaltainen pää näkyvällä valolla on violetti ja pitkäaaltainen punainen (kuvio 2). Jatkuva spektri kutsutaan spektriä, jossa on kaikkia aallonpituuksia punaisesta oranssiin, keltaista, vihreää sekä sinisestä violettiin. Luonnossa ilmiö on havaittavissa esimerkiksi sateenkaarella. Jos spektrissä on vain tiettyjä aallonpituuksia, on kyseessä viivaspektri. (Ilmatieteen laitos, [Viitattu 25.02.2018].)



Kuvio 2. Näkyvän valon aallonpituudet silmän havaitsemina väreinä.
(Ilmatieteen laitos [Viitattu 25.02.2018])



Kuva 1. Valon taittuminen prismasta
(Ilmatieteen laitos [Viitattu 25.02.2018])

2.2 Avaruuskulma

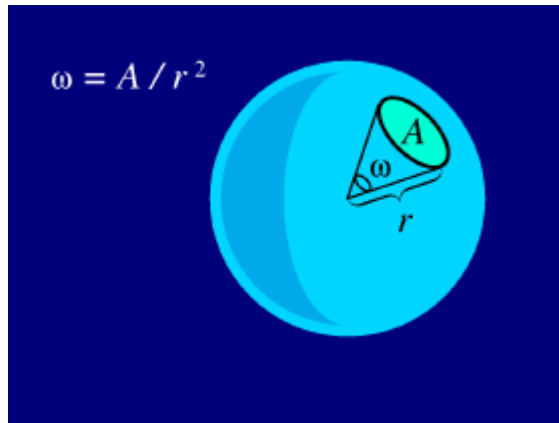
Koska valonlähde pääsääntöisesti säteilee tasaisesti valoa ympärilleen, joko kokonaisuudessaan tai osittain, tarvitaan valaistussuureiden määrittelyyn kolmiulotteinen kulma, avaruuskulma, jonka yksikkö on $\Omega = sr$, *steradiaani*. Avaruuskulma määritellään kyseisen kulman pallosta leikkaaman pinnan pinta-alan A ja pallon säteen r neliön suhteena. (Kuviosta 4. poiketen $\omega = \Omega$) Jos valonlähde säteilee kokonaisuudessaan ympärilleen, toisin sanoen avaruuteen, avaruuskulma on $4 * \pi * sr$. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 254.)

Avaruuskulma Ω määritetään kaavalla:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (1)$$

missä

A on pallosta leikatun pinnan pinta-ala
 r on pallon säde



Kuvio 3. Avaruuskulma
 (Karttunen, Ursa & Tuorlan observatorio [Viitattu 18.02.2018])

2.3 Intensiteetti

Yksikkö *kandela* (*candela*, *cd*) mittaa valonlähteen valovoimaa eli valon intensiteettiä. Tämä kertoo, kuinka paljon valonlähde säteilee tiettyyn säteilykulmaan. Jos valaisimen tuottamaa valovirtaa (*luumen*) kohdistetaan pienemmälle alueelle, on valovoima tällöin suurempi. Mitä enemmän lumeneita valonlähde tuottaa, sitä suurempi on valovoima, jos säteilykulma pysyy samana. (Motiva Oy, [Viitattu 18.02.2018].)

Valovoima I on fotometriaan liittyvä SI-järjestelmän perussuure, joka kuvaa valon voimakkuutta tarkastelusuuntaan siten, että on otettu huomioon silmän spektriherkkyys. Valovoima on havaitsijan sijasta, valonlähteeseen liittyvä suure. (Peltonen, Perkiö & Vierinen 2012, 255.)

Valovoima ilmoittaa silmän spektriherkkyydellä painotetun valonlähteen säteilytehon avaruuskulmaa kohden. Kahden eri säteilijän, joilla on sama säteilyteho, valovoimat saattavat olla hyvinkin erilaiset aallonpituudesta riippuen. Jos säteilijän lähettämän valon aallonpituus on lähellä 555 nm, sen valovoima on huomattavasti suurempi kuin

saman tehoisella säteilijällä, jonka lähettämän valon aallonpituus on näkyvän valon taajuuskaistan reuna-alueilla, esimerkiksi n. 400 nm tai 750 nm. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 255.)

SI-järjestelmässä kandela määritellään seuraavasti:

Valonlähteen valovoima tiettyyn suuntaan on yksi kandela, jos valonlähde säteilee monokromaattista $540 \cdot 10^{12}$ Hz:n taajuista säteilyä ja sen säteilyteho tarkastelusuuntaan on $1/683$ W/sr. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 255.)

Yksi kandela vastaa valovoimaltaan yhden steariinikynttilän valovoimaa. Tästä nimitys kandela, on saanut alkunsa englannin kielisestä sanasta candle (kynttilä). (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 255.)

2.4 Valovirta

Valovirta on valon määrää ilmaiseva mittayksikkö, jonka yksikkö on $\Phi = cd \cdot sr = \text{lumen (lm)}$, on kasvavassa määrin tänäpäivänä käytettävä ilmaisemaan lamppujen tuottamaa valaisutehoa, koska nykyaikaisten ledien ja energiatehokkaampien halogeenien kohdalla ei valotehoa voida vertailla wattien perusteella. Luumen kertoo kuinka paljon valaisin tuottaa valoa kokonaisuudessaan. (Motiva Oy, [Viitattu 18.02.2018].)

Valovirta itsessään on valotehoa kuvaava suure, jossa on otettu huomioon silmän spektriherkkyys. Pistemäinen, ympärilleen tasaisesti säteilevän valonlähteen valovirta Φ avaruuskulmaan Ω on kyseiseen avaruuskulmaan osuva silmän spektriherkkyydellä painotettu säteilyteho. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 255.)

Valovirta Φ määritetään kaavalla:

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad (2)$$

missä

I on valovoima

Ω on avaruuskulma

Valonlähteen valovirta Φ saadaan määriteltä sähkötehosta P seuraavasti:

$$\Phi = \eta * P \quad (3)$$

missä

η on valotehokkuus, yksikkö lm/W

P on sähköteho

2.5 Valotehokkuus

Kaavaan 3 viitaten, valotehokkuuden yksikkö on $\eta = \text{lm/W}$. Valonlähteen säteillä vain aallonpituudeltaan 555 nm:n valoa, on valotehokkuus tällöin $\eta = 683 \text{ lm/W}$. Jos valosäteily ei ole näkyvän valon aallonpituuksien 380 ... 750 nm välillä, silloin valotehokkuus $\eta = 0$. Säteilytehon ollessa vakio koko näkyvän valon alueella on $\eta = 190 \text{ lm/W}$. Hehkulamppujen valotehokkuus jää alle $\eta = 20 \text{ lm/W}$, koska hehkulamppujen lähettämä säteily on enimmäkseen havaitsematonta infrapunasäteilyä. LED-lampun maksimaalinen teoreettinen valotehokkuus on peräti $\eta = 400 \text{ lm/W}$, mutta kaupallisten LED-lamppujen valotehokkuus on nykyisin vasta hieman vajaassa $\eta = 200 \text{ lm/W}$:ssa. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 256.)

Edelliseen kappaleeseen viitaten voidaan todeta, että laservalotekniikkaa valaisimena käytettäessä valonlähteen aallonpituus on laserin monokromaattisen ja koherentin säteilyn ansiosta mahdollista lähennellä valotehokkuuden otollisinta maksimia.

2.6 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden yksikkö on *luksi* (lx). Se kuvastaa valonlähteen voimakkuutta valaistavalla pinnalla. Yksi luksi on valaistusvoimakkuus, jonka yhden

luumenin valovirta antaa tasaisesti yhden neliömetrin pinta-alalle ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$). Näin valaistusvoimakkuus riippuu useasta tekijästä, kuten valovirrasta, valaisimen optisista ominaisuuksista ja etäisyydestä valaistavaan pintaan. (Motiva Oy, [Viitattu 18.02.2018].)

Pintaan osuvan valovirran tiheyttä kuvataan suurella, jota kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Se on yksiköltään $E = \text{lm/m}^2 = \text{lx}$, *luksi*. Valaistusvoimakkuus on pinnalle osuva valovirta pinta-alayksikköä kohden. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 256.)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (4)$$

missä

Φ	on valovirta
A	on valaistu pinta-ala

Valaistusvoimakkuus ilmaisee, kuinka hyvin kyseinen pinta on valaistu.

Valaistusvoimakkuus pistemäisellä valonlähteellä, suoraan valonlähteen alapuolella, etäisyydellä r on kirjoitettavissa kaavaan

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I * \Omega}{A} = \frac{I}{\frac{A}{\Omega}} = \frac{I}{r^2} * sr$$

eli

$$E = \frac{I}{r^2} sr \quad (5)$$

missä

I	on valovoima
r	on etäisyys valonlähteestä pintaan
sr	on steradiaani. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 257.)

Yhtälössä 5 tarvitaan yksikkö sr , koska valaistusvoimakkuuden E yksikkö

$$lx = \frac{lm}{m^2} = \frac{cd * sr}{m^2}.$$

(Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 257.)

2.7 Luminanssi

Luminanssi, yksikkö $L = cd/m^2$, tarkoittaa valoa säteilevän tai heijastavan pinnan kirkkautta kuvaavaa suuretta. Luminanssilla tarkoitetaan pinnan valovoimaa tarkastelusuuntaa vastaan, kohden kohtisuoraa pinta-alayksikköä. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2012, 260.)

$$L = \frac{I}{A} \quad (6)$$

missä

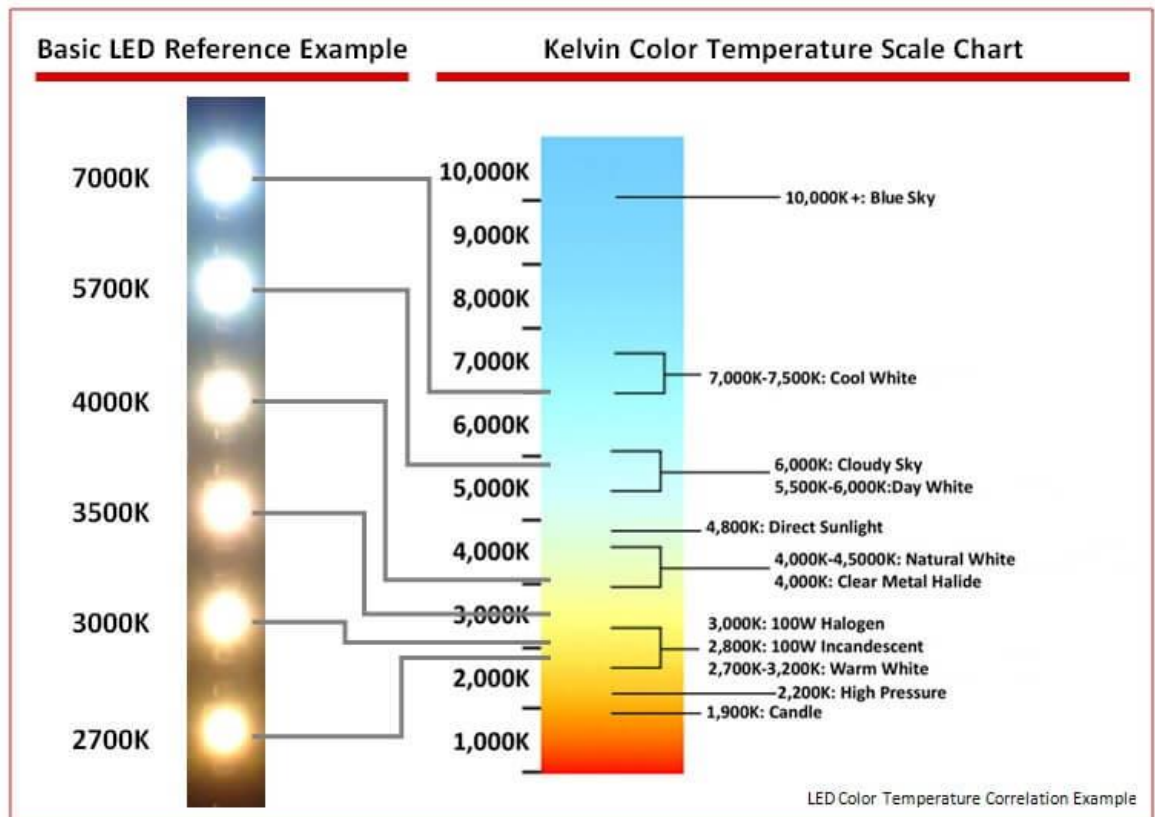
I	on valovoima
A	on tarkasteltavan pinnan pinta-ala

Toisin sanoen, luminanssi määritellään tarkkailtavasta pinnasta havaitsijan suuntaan kohdistuvan valovoiman ja tarkkailtavan pinta-alan suhteena. Luminanssi kuvaa valon kirkkautta, joka kohdistuu pinnalta tai pisteestä tiettyyn suuntaan. Mitä suurempi luminanssiarvo valaisevalla pinnalla tai valaisimella on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää katsojan silmiin. (Suomalainen 2017.)

2.8 Värilämpötila

Värilämpötilan yksikkö on *kelvin* (*K*). Värilämpötila kuvaa säteilijän valon väriä tietyssä lämpötilassa. Valon värisävy määritellään siis värilämpötilan mukaan. Alhaisilla Kelvinarvoilla säteilijä lähettää punertavaa valoa, jota voidaan kutsua lämpimäksi valoksi, kun taas korkeat Kelvinarvot säteilevät kylmää, sinertävän ja violetin sävyistä valoa. Lyhenne CCT tulee sanoista *Correlated Colour Temperature*, suomennettuna ekvivalenttinen värilämpötila. Se määritellään

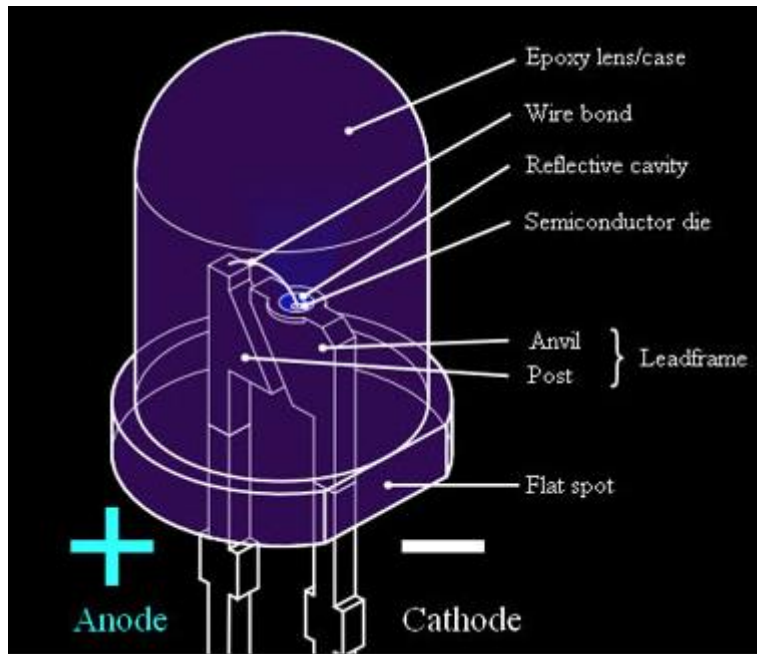
valonlähteille, joiden väripisteet eivät kohdistu hehkusäteilijän väripisteiden uralle. Kyseisenlaisia valonlähteitä ovat esimerkiksi purkauslamput ja tässä työssäkin aiheena olevat LED-lamput. (Suomalainen, [Viitattu: 25.02.2018].) Kuviossa 4 on nähtävillä esimerkkejä värilämpötiloista eri lähteistä. Yli 10 000 kelvinin jälkeen värilämpötila on tummansinisen/violetin sävyistä.



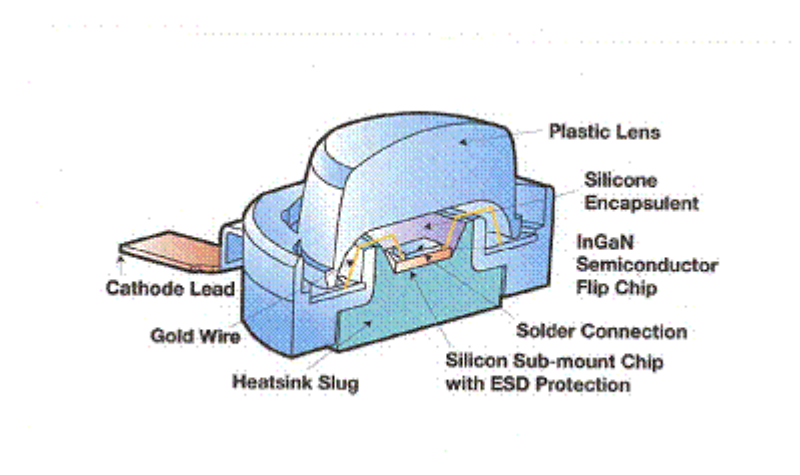
Kuvio 4. Värilämpötila
(Pixent 2017)

3 LED-VALOTEKNIikka

3.1 LED



Kuvio 5. Perinteisen hohtodiodin rakenne
(Edison Tech Center 2013)



Kuvio 6. Pintaliitos hohtodiodin rakenne
(David Darling 2016)

Light-Emitting Diode eli valodiodi tai hohtodiodi, tunnetummin LED, on nimensäkin mukaan valoa säteilevä diodi, jonka toiminta perustuu elektroluminesenssiin. Valodiodi on pienellä levyllä oleva päällystetty puolijohde, joka säteilee valoa, kun diodin läpi johdetaan sähkövirtaa. Toimintaperiaate on sama kuin purkauslampussa, jossa sähkövirta johdetaan kahden elektrodin läpi, joiden väliaineena on kaasu. Valodiodissa väliaineena toimii kiinteä aine. Valmistusmateriaalista (positiivisen ja negatiivisen puolijohteen liitoskohdassa oleva) riippuen voidaan ledin värisävyä muunnella. (Atlok Oy 2018.)

Kehittyneet LED-lamput ovat mullistaneet valotekniikan valotehokkuuden (lm/W), pitkän käyttöiän ja mekaanisen kestävyys, edullisen valmistuksen, koon, nopean syttyvyyden ja muunneltavuuden ansiosta. Yksittäisen LED-sirun koko on nykyiseltään vain noin 0,2 mm, joten yhteen muutaman millimetrin kokoiseen LED-komponenttiin voidaan sisällyttää näitä jopa satoja. (Ensto 2009.) Vaikka LED-komponentin valmistus onkin edullista, kokonaiskustannukset valaisinjärjestelmissä voivat kumminkin paisua tähtitieteellisiin lukemiin LED-komponenttien huonon lämmönkestävyyden (jäähdytys), liitälaitteiden (muuntajat) ja tarkan sijoittelun ja suuntaamisen (LED on pistemäinen valonlähde) johdosta. LED-valaisimet on suunniteltu kestävänsä ajoneuvon käyttöiän ajan. Vantaan Sanomien (12.02.2017) uutisartikkelin mukaan, Saksan autoliiton ACAD:in mukaan kuluttaja voi olettaa auton kestävän 150 000 km tai 10 vuotta ilman suurempia remontteja, pois lukien kulutusosat.

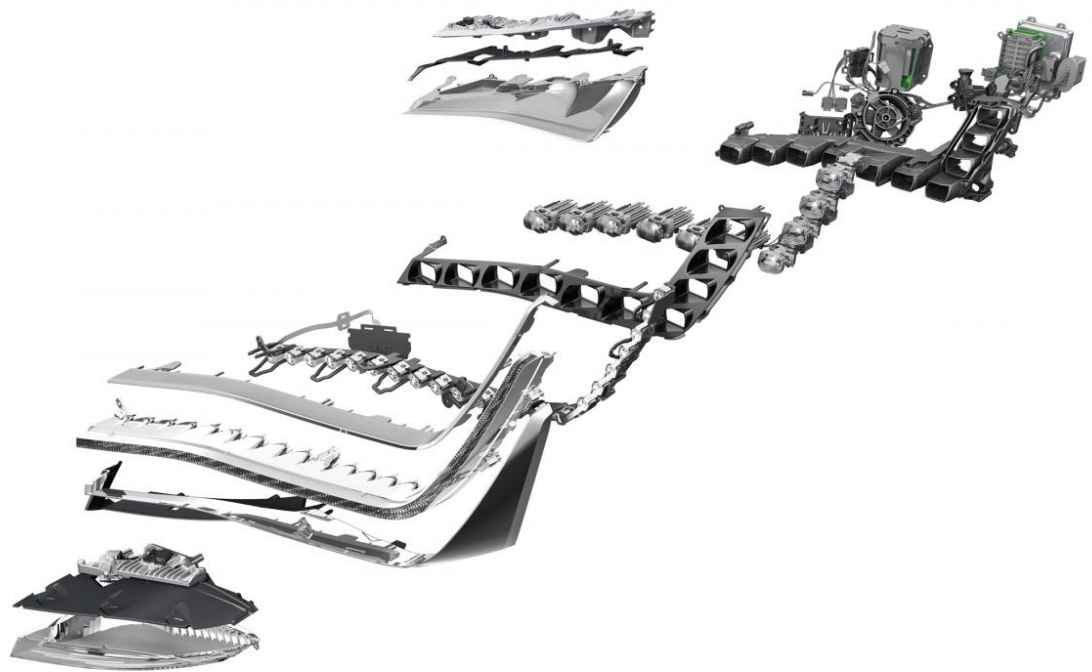
Valodiodin toiminta perustuu puolijohdekomponentteihin, joissa on estojännitteessä oleva PN-rajapinta. Valodiodissa käytetään hyväksi estokerrosvaloilmiötä. Valodiodia käytettäessä päästösuunnassa PN-rajapintaan kohdistuva valo irrottaa elektroneja hilasidoksesta, jolloin muodostuu vapaita elektroneja ja aukkoja. Vapaat elektronit ja aukot kasvattavat estovirtaa valon voimakkuuteen verrannollisesti. Vapautuva energia muuttuu sähkömagneettiseksi säteilyenergiaksi tietyissä puolijohdemateriaaleissa. (Bosch 2003, 118, 183.)

3.2 LED ajovalotekniikassa

LED-teknologia on kehittynyt niin paljon, että se on mahdollistanut ajoneuvoihin vähemmän virtaa vaativien, kirkkaampien ja älykkäämpien ajovalojen suunnittelun. LED-diodit ovat kooltaan vain murto-osan perinteisiin halogen- tai xenonpolttimoihin nähden, eivätkä vaadi monimutkaisia suuria optisia heijastuspintoja valon saattamiseksi valaistavalle tielle. Tämä on mahdollistanut ajovalojen muotoilun aikaisempaa vapaammin, valotehosta tinkimättä. LED-diodien pienen koon vuoksi näitä voidaan sijoittaa umpion sisään useita, mikä mahdollistaa ajoneuvovalmistajien suunnittelemaan uniikin ulkonäön itse valaisimelle, sekä myös tasaisen valaistuksen vaaditulle alueelle.

LED-tekniikan ansiosta on ollut myös mahdollista kehittää älykästä adaptiivista järjestelmää, kuten esimerkiksi vastaantulevien, edessä ajavien, sekä jalankulkijoiden häikäistymistä vähentäviä ominaisuuksia, sekä risteysalueiden tehostettua valaisua, perinteisten kaarreajo-ominaisuuksien lisäksi. Yksittäisen LED-diodien tuottama valo on varsin kapea ja teräväreunainen, jolloin esimerkiksi LED-diodeilla toteutetun kaukovalon ollessa kytkettynä, yksittäisiä LED-diodeja himmentämällä ja sammuttamalla saadaan valokeulaan aikaan valaisemattomia aukkoja. Valaisemattomalla alueella kohde ei häikäisty, samalla muu ympäristö on edelleen kirkkaasti valaistu. LED-diodin nopean toiminnan ansiosta (syttyvyys ja sammuvuus välitön) tällaiset ominaisuudet ovat mahdollisia. (Spinks 2017.)

LED-valo ei tietenkään itsessään ole älyllinen komponentti adaptiivisten ajovalojen toteuttamiseksi, vaan toteutukseen tarvitaan paljon suurempi kokonaisuus kuin pelkästään valaiseva ajovaloumpio. Nykyistä ajovalojärjestelmää voidaan kutsua osaksi ADAS-järjestelmää, josta kerrottu enemmän osiossa 5. Kuvassa 2 on rakennekuva Audin Matrix LED -ajovaloumpiosta.



Kuva 2. Audi A8 Matrix LED -ajovalon rakennekuva
(Audi AG 2016)

Audi A8 Matrix LED -ajovalo sisältää 10 erillistä LED-yksikköä lähivalon toteutukseen. Värilämpötila on 5 500 kelvinin luokkaa, mikä on lähellä luonnonvaloa. Tämä väitetyesti vähentää silmän väsymistä kyseisellä värilämpötilalla. Lähivalon virrankulutus on noin 40 wattia per ajovaloumpio, mikä on energiatehokkuudellaan paljon vähemmän kuin ksenon- tai halogenvalaisimella. Saman valaisutehon aikaansaamiseksi halogen- ja xenonvalaisimet tarvitsevat huomattavasti enemmän sähkövirtaa. Lisäksi ajovaloumpiossa on toteutettu päiväajovalo ja suuntavalo samaan kokonaisuuteen. Tämä "LED-nauha" on toteutettu erillisillä 22:lla valkoisella ja 22:lla keltaisella LED-diodilla. Päiväajovalo kytkeytyy siis pois siksi aikaa kyseisessä umpiossa, johon kytketään suuntavalo. Kaukovalo on toteutettu kahdella voimakkaalla nelisiruisella LED-komponentilla. (Audi AG 2016.)

4 LASERVALOTEKNIikka

Laservalistus on osa tulevaisuutta. Laserdiodin kehityksen myötä on ollut mahdollista kehittää LED-valoja energiatehokkaampia valaisinjärjestelmiä lasertekniikan avulla.

Vaikka ajovalotekniikassa on saavutettu huimia kehityssaskelia LED-diodien ansiosta, nykyaikaisten ajoneuvojen muotoilu ja virtaviivaisuus saattaa aiheuttaa edelleenkin ajovaloumpioiden muotoilulle sellaisia rajoitteita, ettei ajovaloille saavuteta täydellistä kokonaisuutta valaistusvoimakkuudelle. Ajovalojen optiikan koko on pienentynyt merkittävässä määrin, ja vaikka LED-tekniikan avulla on saavutettu varsin hyviäkin tuloksia, valon kantavuudelle asetetaan silti toiveita. Tähän ongelmaan on ajoneuvovalmistajat löytäneet ratkaisun laserdiodeista, jotka kooltaan ja ominaisuuksiltaan ovat vielä hohtodiodejakin (LED) energiatehokkaampia. Nykyisin laservalaisin on noin neljä (4) kertaa tehokkaampi kuin LED-valaisin, mikä tarkoittaa myös sitä, että tulevaisuudessa ajovalot voivat olla kooltaan entistäkin sirompia. (OSRAM GmbH 2018.)

4.1 Laserin perusteet

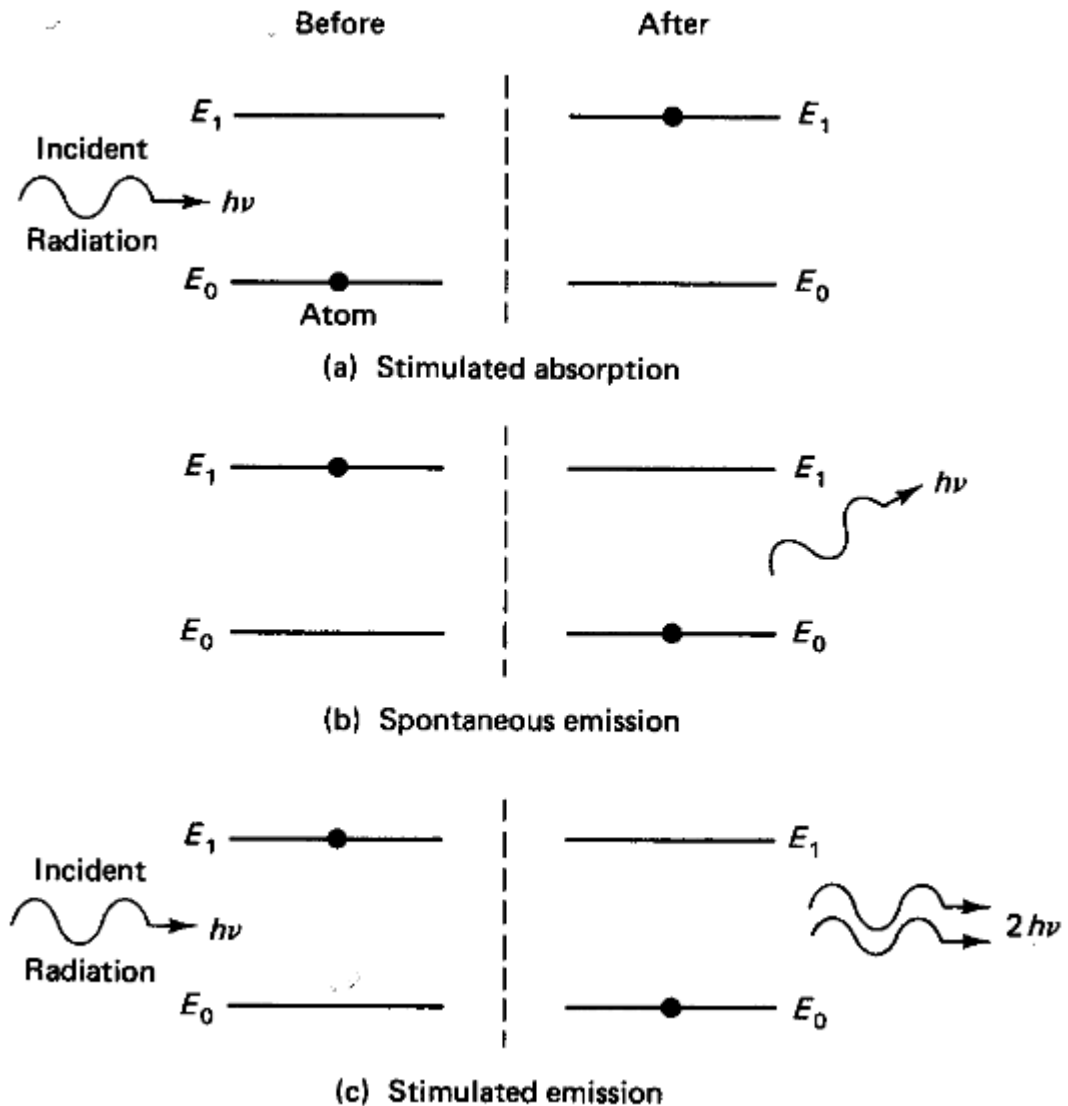
LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) –termiä käytettäessä on kyseessä optinen valon vahvistin. Albert Einstein esitti jo vuonna 1916 stimuloidun emission olemassaolon, joka teki mahdolliseksi laserin toiminnan periaatteen optisena vahvistimena. Vasta vuonna 1954 C. H. Townes kehitti ensimmäisen teorialle soveltuvan mikroaalto-alueella toimivan ns. maserin (*microwave amplifier based on stimulated emission of radiation*). Vuonna 1958 Townes, yhdessä Schawlowin kanssa, laajensi Townesin kehittelemän maserin optiselle alueelle. Tästä saavutuksesta heille myönnettiin Nobelin palkinto. Ensimmäinen varsinainen laser rakennettiin vuonna 1960 T. H. Maimanin toimesta. Kyseinen pulssilaser on rubiinilaser, joka toimii punaisella aallonpituudella 694,3 nm. (DocPlayer 2018.)

Vuonna 1916 Einsteinin tutkiessa sähkömagneettisen säteilyn ja materian vuorovaikutusta, hän osoitti, että aineen ja säteilyn tasapaino edellyttää stimuloidun

emission huomioon ottamista, mikä kyseiseen aikaan oli vielä tuntematon asia. (DocPlayer 2018.)

Aineen ja sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutus (kuvio 7) voidaan selittää kolmen prosessin avulla:

- **Stimuloitu absorptio** (kuvio 7, (a)): Atomi siirtyy perustilasta (E_0) viritystilaan (E_1), kun tulevan fotonin energia vastaa energiaeroa $h\nu = E_1 - E_0$. (DocPlayer 2018.)
- **Spontaani emissio** (kuvio 7, (b)): Aluksi atomi on viritetyssä tilassa (E_1) ja siirtyy itseksään ilman ulkoista ärsykettä perustilaan (E_0). Siirtymässä vapautuu fotoni, jonka energia on $E_1 - E_0 = h\nu$. (DocPlayer 2018.)
- **Stimuloitu emissio** (Kuvio 7, (c)): Stimuloitu emissio edellyttää ulkoisen säteilyn vaikutusta. Atomi on aluksi viritetyssä tilassa (E_1). Kun ulkoinen fotoni, jonka energia on $h\nu = E_1 - E_0$, ohittaa atomin siirtymään perustilaan. Prosessissa atomi vapauttaa fotonin, jonka energia, suunta, vaihe ja polarisaatio ovat samat kuin emission aiheuttaman fotonin. Tuloksena on siis kaksi identtistä fonia yhden sijasta, ts. säteen irradianssin kasvu. Stimuloitu emissio tekee valon vahvistamisen laserissa mahdolliseksi. (DocPlayer 2018.)



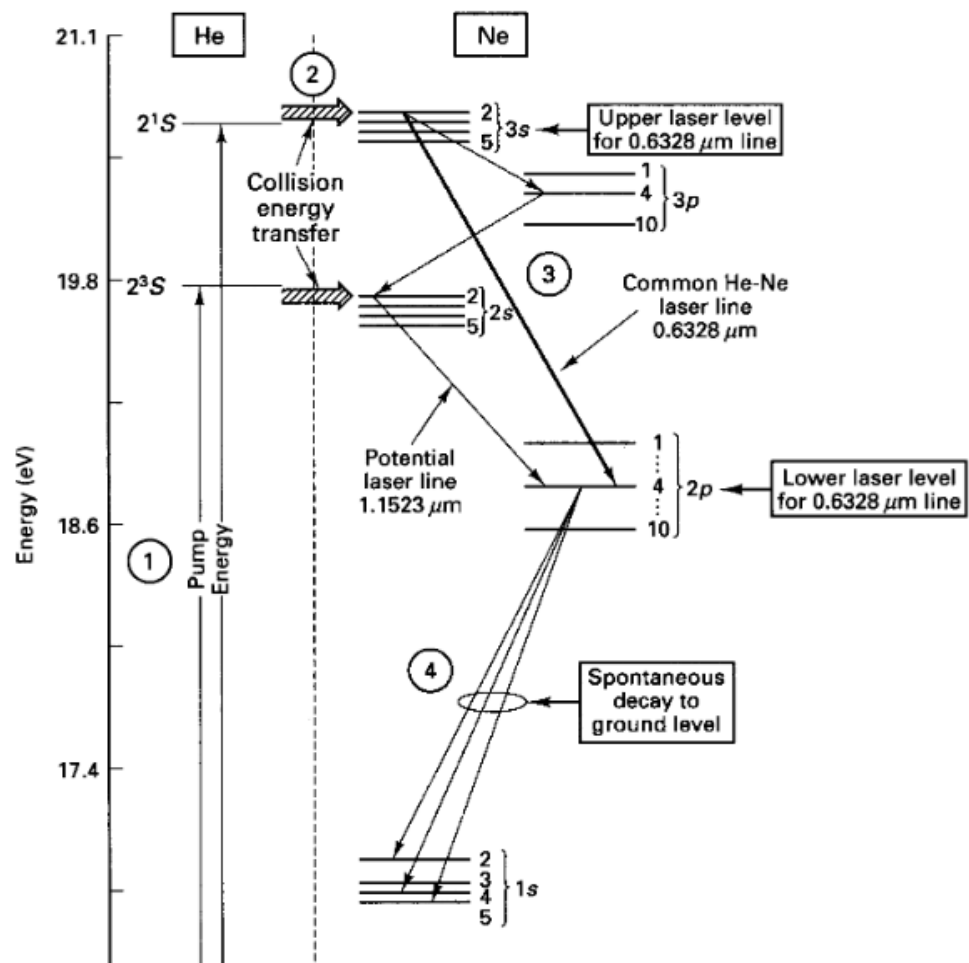
Kuvio 7. Sähkömagneettisen säteilyn ja materian vuorovaikutus (DocPlayer 2018)

Laser on optinen oskillaattori, joka emittoi hyvin kollimoidun ja voimakkaan säteen koherenttia valoa. Laserin pääosat ovat:

- **Pumppu** (ulkoinen energialähde)

Ulkoinen energialähde, jonka avulla saadaan syntymään *miehitysinversio* laserväliaineeseen. Pumppu voi olla optinen, sähköinen, kemiallinen tai termodynaaminen. Oleellisinta on, että fotonisäteilykenttä saadaan aikaiseksi laserväliaineeseen, joka aiheuttaa energiatasojen välisiä siirtymiä ja näin ollen miehitysinversion. (DocPlayer 2018.)

Esimerkki: He-Ne-laser



Kuvio 8. He-Ne-laserin oleelliset energiatasot
(DocPlayer 2018)

Lasertoiminnan kannalta oleelliset energiatasot on esitetty kuviossa 8. Laserväliaineena toimii Neon-atomit, kun taas Helium-atomit toimivat pumppauksen avittajina, mikä tapahtuu sähköisen purkauksen avulla. Kuviossa 8 pumppausta edustavat vaiheet 1 ja 2. Sähköpurkausputken sähkökentässä kiihdytetyt elektronit törmäävät He-atomeihin virittäen nämä kuviossa 8 esitetyille energiatiloille. Kyseiset energiatilat ovat metastabiileja ts. pitkäikäisiä, koska tilat eivät voi purkautua sähkömagneettisella säteilyllä perustilaan. Ne-atomeilla on samalla viritystiloja, jotka ovat lähellä He-atomien viritystiloja, tästä johtuen He-atomien törmäilevät Ne-atomeihin. Tästä seuraa He-atomien

viritysenergian siirtymistä Ne-atomeille kuvion 8 vaihe 2 mukaisesti. (DocPlayer 2018.)

– **Laserväliaine** (vahvistinväliaine)

Edellä mainittu He-Ne-laser ei ole ainoa toteutus, jolla saadaan toimiva laser aikaiseksi. Laserväliaineena voidaan käyttää kaasua, nestettä tai kiinteää ainetta. Laserit nimetään yleensä laserväliaineen mukaan. Väliaine on laserin osa, joka määrää syntyvän laservalon aallonpituuden. Mahdollisia laserväliaineita on suuri määrä, joten myös laseraallonpituuksien kirjo on näin ollen kattava, aina ultravioletista infrapunaan saakka. Laserväliaineen keskeinen vaatimus on, että sen atomien, ionien tai molekyylien energiatasolle voidaan toteuttaa miehitysinversio. (DocPlayer 2018.)

– **Resonaattori** (optinen takaisinkytkentä)

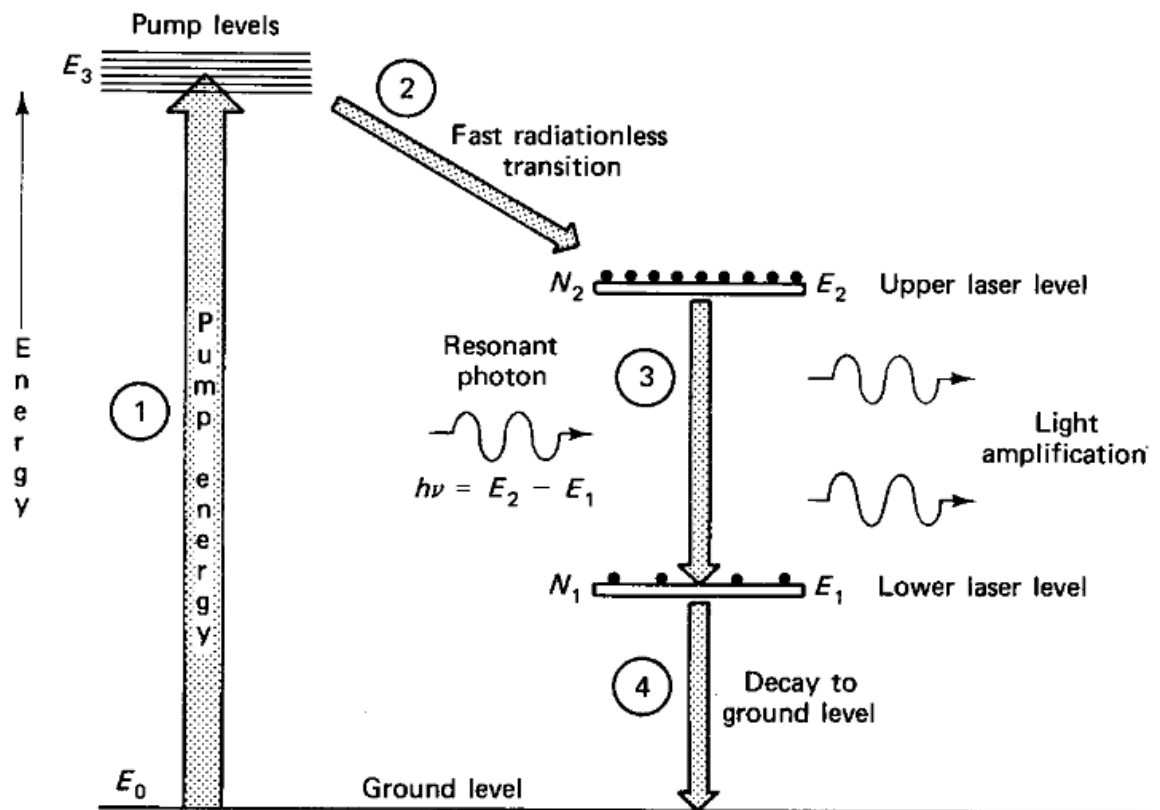
Eräänlainen optinen takaisinkytkentälaitte, joka aiheuttaa laserväliaineessa fotonien edestakaisen liikkeen. Jokaisessa edestakaisessa liikkeessä fotonin läpäistäessä väliaineen säde vahvistuu stimuloidun emission vaikutuksesta miehitysinversion ollessa voimassa. (DocPlayer 2018.)

Yksinkertaisimmillaan resonaattori muodostuu kahdesta taso- tai pallopeilistä, joista toinen on täysin heijastava ja toinen osittain läpäisevä. Peilien välimatka ja geometria määräävät laserissa syntyvän valon sähkömagneettisen kentän rakenteen. Resonaattorin teoria pohjautuu paljolti Fabry-Perot-etalonin teoriaan. (DocPlayer 2018.)

4.2 Laserin toiminta

Kuvioon 9 perustuen pumppu tuottaa sopivan määrän energiaa, joka on riittävä siirtämään suuren määrän atomeja perustilasta E_0 viritettyihin tiloihin E_3 . Osa atomeista palaa takaisin perustilaan, mutta osa siirtyy nopeasti ja säteilemättä energiatasolle E_2 , joka on lasertoiminnan ylempi energiataso. Ns. elinaika

kyseisessä energiatasossa on suhteellisen pitkä (10^{-3} sekuntia), jolloin kyseessä on metastabiili tila, joka tekee kyseisestä tilasta "erikoisen", koska normaalissa tilassa E_1 purkautumista edeltävä elinaika on n. 10^{-8} sekuntia. Atomivirtaus kertyy koko ajan pumppauksen kestäessä tilaan E_2 tilalta E_3 . (DocPlayer 2018.)



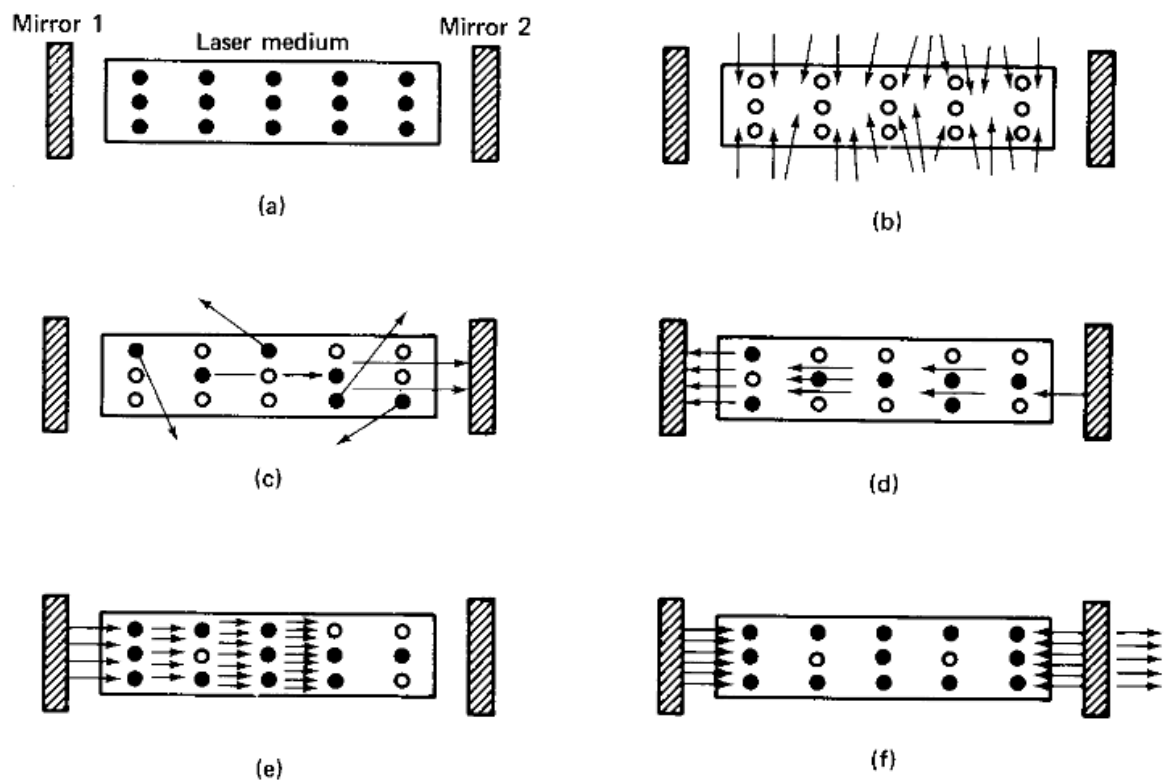
Kuvio 9. Lasertoiminnalle oleelliset atomien energiatasot (DocPlayer 2018)

Lasertoiminnan alatila on kuviossa 9 oleva tila E_1 , joka on edelläkin mainittu normaali tila. Sinne päätyneet atomit purkautuvat nopeasti perustilaan E_0 . Tilan E_1 miehitysluku N_1 on tämän perusteella siis aina hyvin pieni. Tilojen E_2 ja E_1 välillä syntyy miehitysinversio pumppauksen seurauksena, ts. $N_2 > N_1$. (DocPlayer 2018.)

Miehitysinversion synnyttyä fotoni, jolla on energia $h\nu = E_2 - E_1$, aikaan saa stimuloidun emission ja valon vahvistumisen. Huomioitavaa on, että kyseinen fotoni voi stimuloida myös stimuloitua emissioon verrattaen vastakkaisen absorption, ts.

atomin siirtymisen tilasta E_1 tilaan E_2 . Kuitenkin N_2 ollessa suurempi kuin N_1 , sekä Einsteinin kertoimet B_{21} (stimuloitu emissio) ja B_{12} (absorptio) ovat yhtä suuret (kertoimia, joita ei ole tässä työssä esitelty tarkemmin), stimuloituja emissioita tapahtuu enemmän ja valo näin ollen vahvistuu. Jos pumppu on jatkuvasti aktiivinen, tilasta E_1 perustilaan E_0 siirtyvät atomit virittyvät uudelleen tilalle E_3 , jolloin prosessi on jatkuva. (DocPlayer 2018.)

Kuviossa 10 tarkastellaan, miten fotonipopulaatio kasvaa resonaattorissa.



Kuvio 10. Fotonipopulaation kasvu resonaattorissa (DocPlayer 2018)

Kuviossa 10 esitetään seuraavaa:

- a) Resonaattorin peilien välissä on laserväliaine. Välimatka peilien välillä on säädetty niin, että se on lasersiirtymän taajuutta vastaavan aallonpituuden puolikkaan moninkerta. Peili 1 on täysin heijastava ja peili 2 osittain läpäisevä ja osittain heijastava. Mustat täplät esittävät atomeita perustilassaan.

- b) Väliaineeseen pumpataan ulkoista energiaa, jolloin atomeista useimmat siirtyvät viritettyihin tiloihin. Viritetyssä tilassa olevat atomit on esitetty avoimina täplöinä. Atomien siirtyessä viritettyihin tiloihin miehitysinversio kehittyy.
- c) Viritettyjä atomeita alkaa spontaanin emission mekanismeilla siirtyä alempaan energiatasoon, jolloin valon vahvistusprosessi käynnistyy. Tässä vaiheessa fotonit säteilevät satunnaisiin suuntiin, spontaanin emission ollessa kyseessä. Osa fotoneista karkaa laserin sivuilta, mutta joukossa on kuitenkin myös useita fotoneita, jotka etenevät laserin optisen akselin suunnassa. Näitä kutsutaan siemenfotoneiksi. Siemenfotonit pysyvät resonaattorin sisällä ja kulkiessaan peileistä heijastuen edestakaisin laserväliaineen lävitse käynnistävät ne stimuloidun emission.
- d) Identtisten ja samaan suuntaan etenevien fotonien lukumäärä kasvaa stimuloidun emission aikaan saannoksena ja ne saavat aikaan valon voimistumisen.
- e) Ks. d)
- f) Peilin 2 ollessa osittain läpäisevä, sen lävitse pääsee osa fotoneista poistuen resonaattorista ja muodostaen lasersäteen.

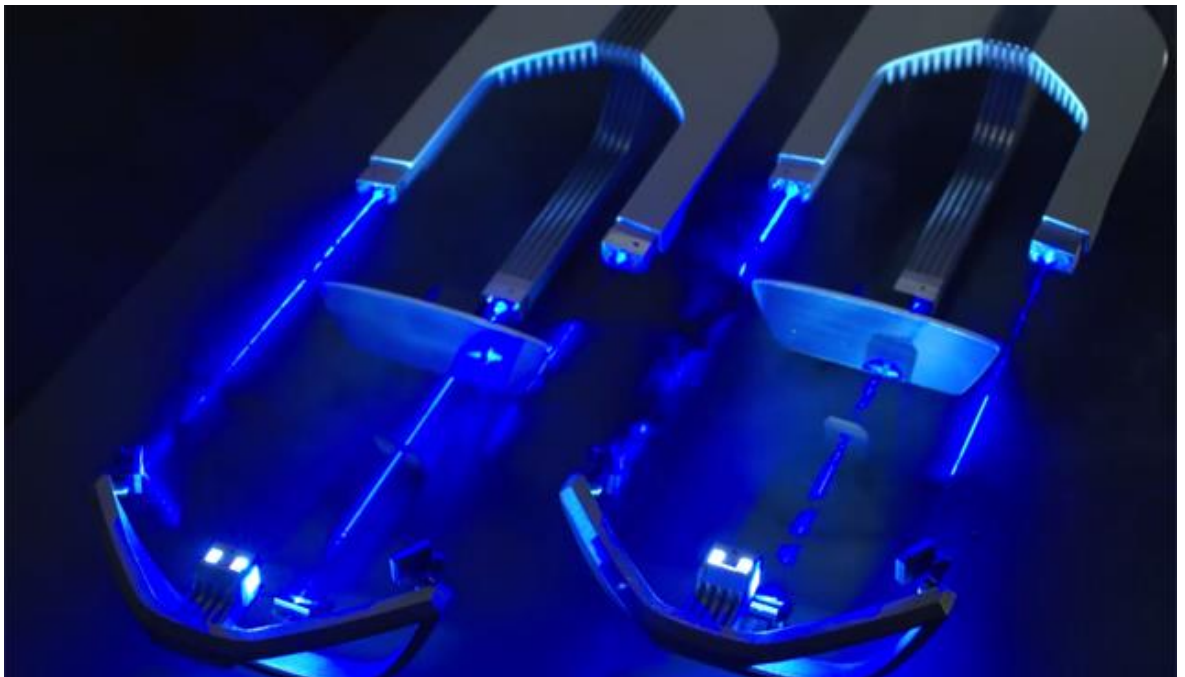
(DocPlayer 2018.)

4.3 Laser ajovalotekniikassa

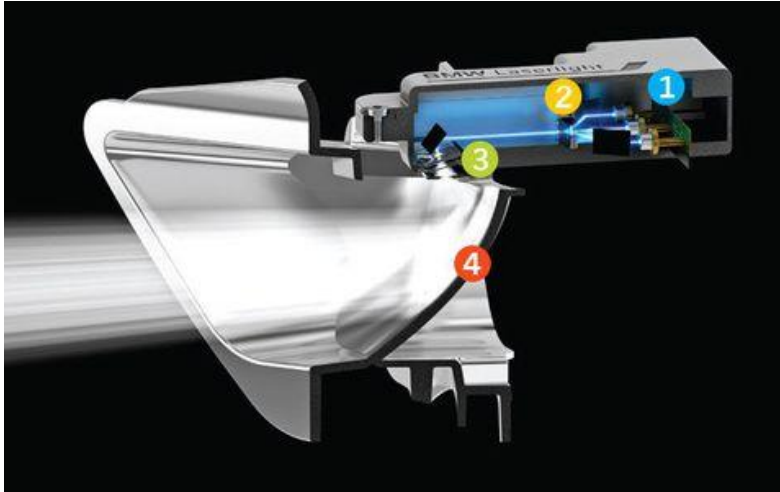
Lasertekniikkaa on kehitelty ajoneuvoihin kaukovalojen tehostamiseksi LED-valojen tukena. Tulevaisuudessa teknologiaa voidaan käyttää myös ajovaloissa kokonaisuudessaan, eli myös lähivalojen toteutuksessa. Laser itsessään on laite, jolla saadaan aikaan kapeaksi tiivistynyttä sädettä, jonka valo on suuri intensiteettistä, monokromaattista ja koherenttia. Selkokielellä siis erittäin pieneen pinta-alaan kohdistettua yksiväristä, samantaaajuista ja vaiheista valoa. Toiminta perustuu stimuloituksi emissioksi nimitettyyn kvanttimekaaniseen ilmiöön. (Bosch 2003, 181.)

Ajoneuvotekniikassa käytetään sinistä laserdiodia, joka perustuu indium-gallium-nitridi-teknologiaan, jonka väriä voidaan muunnella vaihtelemalla indium-gallium-

suhdetta. Käyttölämpötila laserdiodeilla on $-40 - +100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laserdiodien suunnittelussa on ongelmana valmistaa diodi, joka toimii luotettavasti yli $50\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloissa. Tästä syystä valaisimissa on oltava lisäksi jäähdytysjärjestelmä. Laserdiodin itse lasersäde on noin tuhat (1 000) kertaa kirkkaampi kuin hohtodiodin tuottama valo. Jotta tämä kapea säde saataisiin muodostumaan näkyväksi, valkoiseksi ja "hajanaiseksi" valonlähteeksi, ajovalotekniikassa käytetään sinistä laserlaitetta (aallonpituus 450 nm), jonka säde syötetään keltaisen fosforin lävitse, jolloin muodostuu valkoista valoa (värilämpötila n. 5 500 K). Esimerkiksi Audin toteutuksessa fosfori sijaitsee laserlaitteen "silmissä", josta muodostunut valkoinen valosäteily ohjataan optisen linssin kautta valaisemaan tietä (kuva 5). BMW:n prototyypissä laserlaitteen säde ohjataan peilien avulla toisaalla sijaitsevaan fosforilinssiin (Kuva 3). Tuotantoon tullessa BMW i8-mallissa kokonaisvaltainen peiliratkaisu korvattiin säteen prismaohjaukseen (kuva 4). Audi R8 LMX-mallissa käytetään samaa toimintaperiaatetta kuin BMW i8-mallissa (kuva 6). (Audi AG 2016.)



Kuva 3. BMW i8-mallin ensimmäinen laservalokonsepti (GTspirit 2013)

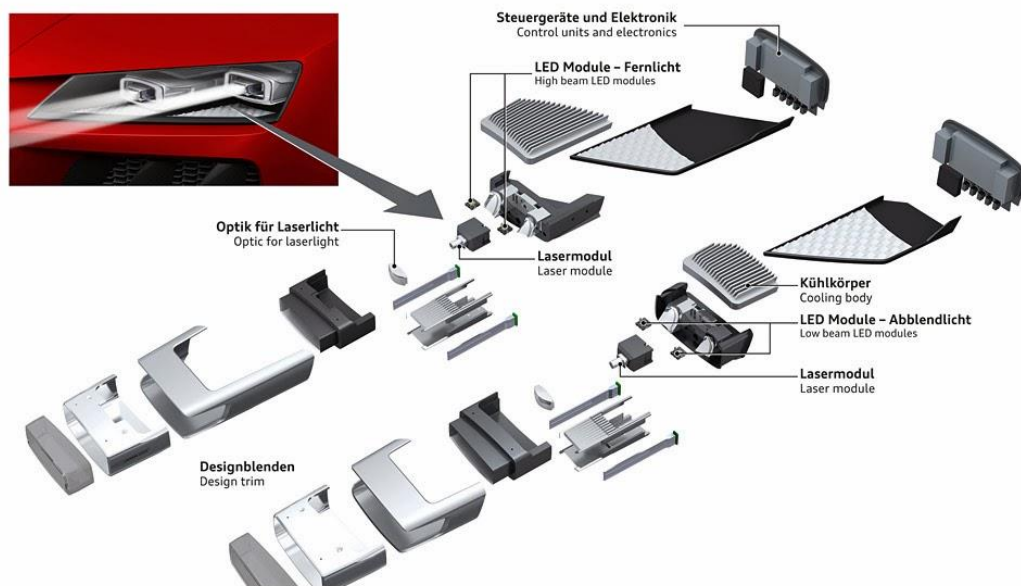


Kuva 4. BMW i8-mallin laserkaukovalon rakennekuva (Wasef 2014)

1. Kolme laserdiodia luo kolme erillistä sinistä (aallonpituus 450 nm) lasersädettä.
 2. Lasersäteet yhdistetään prisman avulla yhdeksi lasersäteeksi.
 3. Yhdistetty lasersäde ohjataan peilin kautta fosforiinssin lävitse, joka ns. Hajottaa sinisen lasersäteen valkoiseksi valosäteilyksi.
 4. Valo suunnataan heijastuspinnasta valaisemaan tietä.
- (Wasef 2014.)

Audi Sport quattro laserlight concept

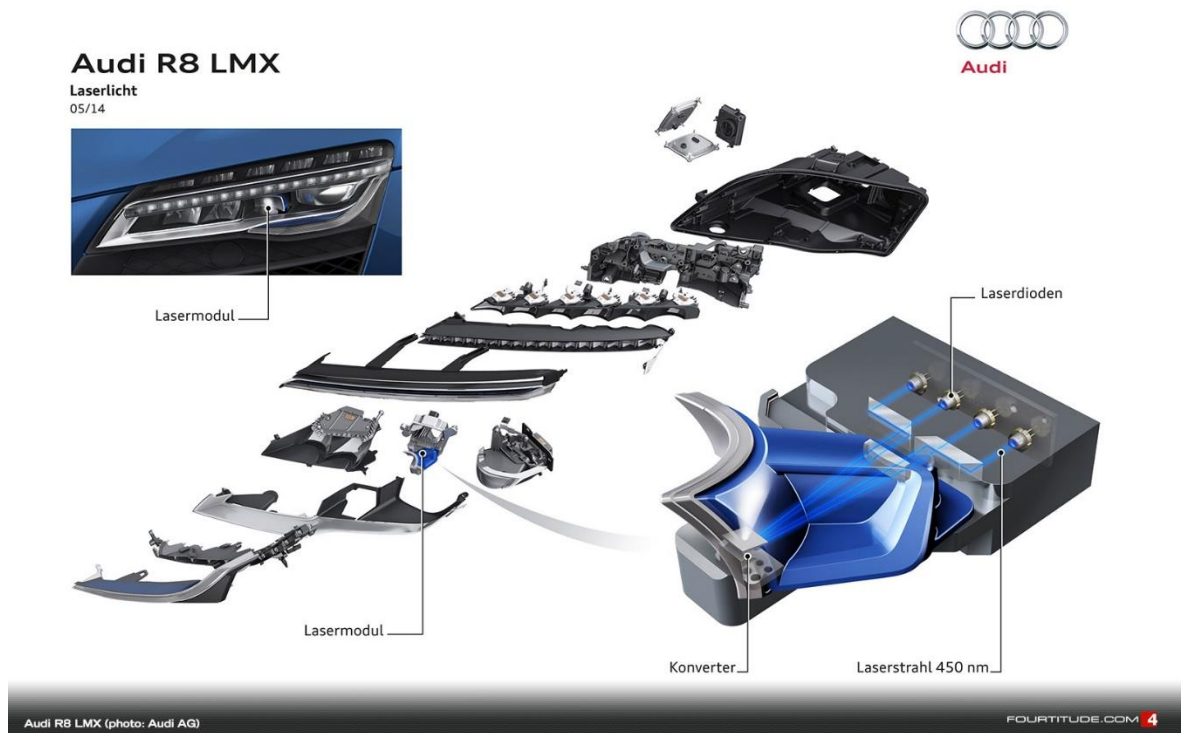
01/14



Audi Sport quattro laserlight concept (photo: Audi AG)

FOURTITUDE.COM 4

Kuva 5. Audin konseptilaser (Information Technology 2014)

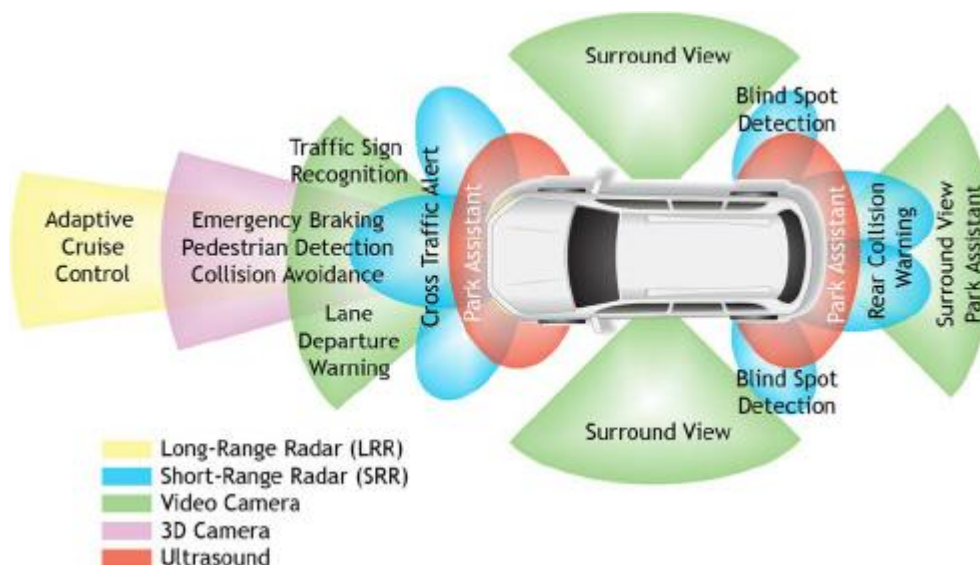


Kuva 6. Audi R8 LMX laserkaukovalon rakennekuva
(VerticalScope Inc. 2018)

Kuvassa kuusi (6), Audi R8 LMX-version laserkaukovalon toteutuksessa käytettävät neljän sinisen laserdiodin (aallonpituus 450 nm) lasersäteet ohjataan kolmen prisman ja yhden peilin kautta kohti fosforilinssiä, josta muodostunut valkoinen valosäteily ohjataan heijastuspinnan kautta valaisemaan tietä.

5 ADAS-JÄRJESTELMÄ

ADAS-järjestelmä (*Advanced Driver Assistance System*) on kuljettajaa aktiivisesti avustava järjestelmä, joka sisältää useita erilaisia tunnistimia ajoneuvon ympäristön havainnollistamiseksi. Ajovalojärjestelmään näistä tärkeimmät ovat kamera(t), sekä ohjauspyörän asentotunnistin. Vanhemmassa tekniikassa käytettiin lähinnä tasoantureita etu- sekä taka-akselilla mahdollistaen akselikohtaisen kuorman mukaan säätyvän korkeudensäädön ajovaloille. Lisäksi käytettiin ohjauspyörän asentotunnistinta, jolloin valaisin suuntautuu ohjauspyörän mukaisesti esimerkiksi kaarteeseen ajettaessa. Kamerat ovat pääosin korvanneet akseleille asennettavat tasoanturit. Kuvio 11 osoittaa miten kamerat, tutkat ja ultraäänisensorit havainnoivat ajoneuvon ympäristöä.



Kuvio 11. ADAS-järjestelmä
(ResearchGate 2018)

5.1 Kalibrointi ja suuntaus

Tässä osiossa keskitytään ADAS-ajovalojärjestelmän kalibroimiseen ja suuntaamiseen.

Uudenlaisten ajovalojen takia on jouduttu kehittämään myös ajovalojen suuntauslaitteistoa. Halogeneilla ja/tai xenoneilla varustetuissa ajovaloumpioissa valonlähde muodostuu yhdessä pisteessä, mutta uudenaikaisissa LED-valaisimissa valonlähteitä on useampia ja usein varsin suurella alueella. Esimerkkinä tästä kuva 7 on Audi A8-mallin ajovalo, jossa lyhyinä ajovaloina toimivat kuvassa näkyvät 10 led-yksikköä.



Kuva 7. Audi A8 D4 -ajovalo
(PennWell Corporation 2010)

Uudemmassa valojen suuntauslaitteistossa käytetään kameratekniikkaa, joka helpottaa asentajan työtä, koska valokuvio saadaan aikaan erilliselle näytölle. Laitteisto on siis täysin digitalisoitunut verrattuna aikaisempiin suuntauslaitteisiin, ja ne sisältävät nykyään oman käyttöjärjestelmänsä. Tällaisia laitteistoja on esimerkiksi Bosch HTD 815 ja Maha MLT 3000. Näistä kahdesta Maha on kykenevä myös laservalojen suuntaukseen, toisin kuin Bosch. Uudenlaisissa järjestelmissä ajoneuvon on oltava perinteiseen tapaan tasaisella alustalla, ajoneuvon on oltava käynnissä ja joissakin tapauksissa, kuten Boschin ohjeistuksessa, on kuljettajan paikalle laitettava paino simuloimaan kuljettajaa (n. 75 kg) ja polttoainetankin on oltava $\frac{3}{4}$ täynnä. Autossa ei saa olla myöskään ylimääräistä painoa tavaratilassa. Eri aloitusvariaatioita on useita, kuten esimerkiksi joistain automalleista riippuen voidaan joutua jopa tiputtamaan etupyörien paineita. (Beissbarth 2017.)

Seuraavassa esitetään Maha MLT 3000 –digitaalinen ajovalotesteri. Maha MLT 3000 on erityisesti suunniteltu uusille ajovalotyypeille, kuten ksenon, led ja laser, mutta myös halogeeni-, bilux-, projektiolinssi ja parapoliset linssivalaisinjärjestelmät on mahdollista mitata laitteen avulla. Toimintaperiaate laitteella on, että ajovalaisimen kuvio heijastetaan laitteen sisällä olevaan takaseinään Fresnerlinssin kautta. Laite digitalisoi laitteeseen muodostuneen valokuvion ja määrittää valokuvion kirkkaimman pisteen (HotSpot), jonka perusteella mittaus tehdään. Laitteen sisällä oleva sähköinen anturi myös kompensoi lattian aiheuttaman virheen. Suuntauslaite on kiinnitetty pystyvarteen ”kelluvalla” menetelmällä, joten korkeudensäädössä ei tarvita lukkoja, vaan laite pysyy säädetyssä korkeudessaan pystyvarren sisällä olevan vastapainon avulla. Suuntauslaitteen kohdistus ajoneuvoon nähden voidaan toteuttaa kolmella eri menetelmällä: hiusviiva kohdistimella, laserviivalla (lisävaruste) tai lisäkameralla, jolloin laitteen näytöltä voidaan nähdä auton asento. Laitteessa on 7 tuuman kosketusnäyttö ja laitteessa on myös ääniohjaus, jolloin käyttäjän ei tarvitse fyysisesti nähdä näyttöä. (Tecalemit, [Viitattu: 17.03.2018].)



Kuva 8. Maha MLT 3000 -ajovalojen suuntauslaite (Tecalemit [Viitattu 17.03.2018])

Tutkat ja kamerat tarvitsevat myös omanlaisensa kalibrointilaitteistonsa. Kalibrointia vaaditaan aina, jos;

- ajoneuvo on ollut vauriokorjauksessa.
- ajoneuvoon on vaihdettu tuulilasi.
- ajoneuvon ohjainlaite ilmoittaa kalibroinnin tarpeesta.
- ajoneuvoon on uusittu tutkasensori tai kamera.
- ajoneuvon korkeutta on muutettu.
- ajoneuvon rengaskoko on muuttunut.
- ajoneuvoon on tehty nelipyöräsuuntaus.

(Suomen Työkalu OY, [Viitattu 17.03.2018].)

ADAS-järjestelmä sisältää useita sensoreita tunnistamaan ajoneuvon ympäristöä. Näistä ajovaloihin liittyviä ovat eteenpäin sijoitetut kamera(t) ja tutka(t). Lisäksi myös ohjauspyörän yhteydessä oleva ohjauspyörän asentotunnistin liittyy tähän. Tuulilasin tunnistinjärjestelmät on erittäin tärkeässä asemassa ADAS-

järjestelmässä. Kamera seuraa ajoneuvon edessä tapahtuvia tapahtumia tutkien apuna. Kalibrointi on syytä toteuttaa jos seuraavissa toiminnoissa havaitaan toimimattomuutta:

- Adaptiivinen vakionopeuden säädin (ACC)
- Adaptiivinen kaukovalo
- Kaukovalojen vastaan tulijoiden häikäistymisen estojärjestelmä
- Adaptiivinen ajovalojärjestelmä; kaarreajosuuntaus
- Automaattinen parkkeeraus
- Navigointijärjestelmä, joka antaa ajantasaista liikennetietoa
- Pimeänäkö avustin
- Kuolleenkulman tunnistin
- Törmäyksenestojärjestelmä
- Sivutuulivakautus
- Kuljettajan väsymystilan tunnistin
- Kuljettajan valvontajärjestelmä
- Sähköajoneuvojen varoitusäänijärjestelmä, hybrideissä ja plug-in sähköajoneuvoissa
- Kuljettajan hätäavustaja (*Emergency driver assistant*)
- Törmäysvaroitin
- Risteysajoavustin
- Mäkiavustin (*HDC*)
- Älykäs ajonopeuden valvontajärjestelmä (*ISA*)
- Ajokaistan leikkauksen varoitusjärjestelmä
- Kaistanvaihtoavustin
- Jalankulkijatunnistus
- Ajoneuvojen välinen kommunikointijärjestelmä
- Vastanulevan liikenteen kaistalla ajon varoitusjärjestelmä

(Autoglass 2017.)

Ohjauspyörän asentotunnistin on hyvin yksinkertainen kalibroida. Ohjauspyörä asetetaan ensin suoraan linjaan, tietenkin niin, että ajoneuvon pyörätkin ovat suorassa linjassa, tämän jälkeen laitetaan sytytysvirta päälle, seuraavaksi

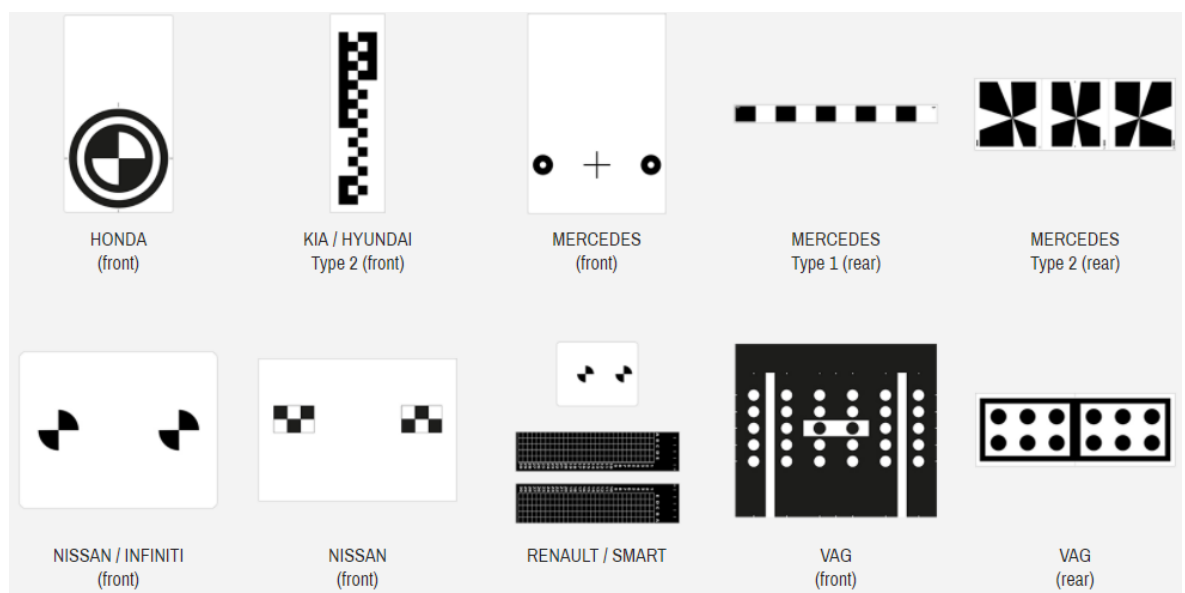
käännetään ohjauspyörä äärivasempaan, tämän jälkeen äärioikeaan ja lopuksi palataan takaisin ohjauspyörän suoraan linjaan. Jos ajoneuvo ei tätä menetelmää tue, toinen mahdollinen kalibrointimenetelmä on OBD:n kautta ohjelmoida anturi niin, että ohjauspyörän ollessa suorassa linjassa, anturi nollataan tietokoneohjelmalla tähän ns. nollapisteeseen.

Tutkien ja kameroiden kalibrointiin voi olla ajoneuvosta riippuen staattinen ja/tai dynaaminen menetelmä. Prosessi on erittäin hankala kirjallisesti selostaa, joten seuraavaksi on esitetty viittaukset youtube-verkkosivulle esittämään nämä kaksi erilaista kalibrointimenetelmää. Staattinen kalibrointi on toteutettu Texa "Video Camera Calibration Kit" –laitteistolla. Dynaaminen on toteutettu Josamin valmistamalla kalibrointilaitteistolla.

Staattinen henkilöautolle: <https://www.youtube.com/watch?v=CvPRVnm9dMQ> (TEXA S.p.A. 2017.)

Staattinen kuorma-autolle: <https://www.youtube.com/watch?v=fuVEuZLsYRQ> (TEXA S.p.A. 2017.)

Dynaaminen: <https://www.youtube.com/watch?v=1xK3hmq2Rfg> (Josamsweden 2016.)



Kuva 9. Esimerkkejä erilaisista ADAS-kalibrointi tunnustinkuvioista Texan järjestelmässä (TEXA S.p.A. 2017)

6 AJOVALOJEN MITTAUSMENETELMÄT

6.1 Mittauskuviot

Ajoneuvoissa on oltavat mahdollisimman suuren näkyvyyden aikaansaava valaistus, kuitenkin häikäisemättä vastaantulevaa liikennettä. Valaistuksen on oltava myös riittävä valaisemaan mutkissa, joten valokentän on ulotuttava mahdollisimman ulos, ts. leveästi. Näiden seikkojen perusteella on määritelty ECE-normit valaisimille, jotta valaistusvoimakkuus täyttäisi nämä ehdot mahdollisimman hyvin. Mittaukset toteutetaan aina yhdellä valaisinumpiolla. Normeja ovat ECE-R112 hehkulankapolttimoilla ja/tai LED-valoilla varustetuille ajoneuvoille ja ECE-R98 kaasupurkauspolttimoilla varustetuille ajoneuvoille. (Bosch 2003, 814.)

6.2 ECE-R112

ECE-R112-normin mukaisessa mittauksessa mitataan filamenttilampuilla (esim. halogen) ja/tai LED-moduuleilla varustettujen ajovaloumpioiden tuottamaa valoa 25 metrin etäisyydeltä. Ajovaloumpiosta mitataan erikseen lähi- ja kaukovalojen intensiteetti, eli valovoima ECE-normin mukaisista mittauspisteistä, jotka vastaavat yksittäin omaa pistettä/aluetta maantiellä. Mittauksia ennen on ajovalo suunnattava oikein valaistavaan seinään. Kuviossa 14 on mahdollista nähdä eri mittauspisteet ja taulukossa 1 näkyy eri pisteiden kohdalla vaadittavat valon intensiteetit ja tarkat mittauspisteiden kulmakoordinaatit. Kuviossa 14 mittausetäisyydet on merkitty kulmakoordinaatteina ja se saadaan muutettua mittayksiköksi suorakulmaisen kolmion trigonometriaa ja pythagoraan lausetta avuksi käyttäen. Kuviossa 12, b on kulmakoordinaatilukua vastaava etäisyys seinällä keskilinjasta:

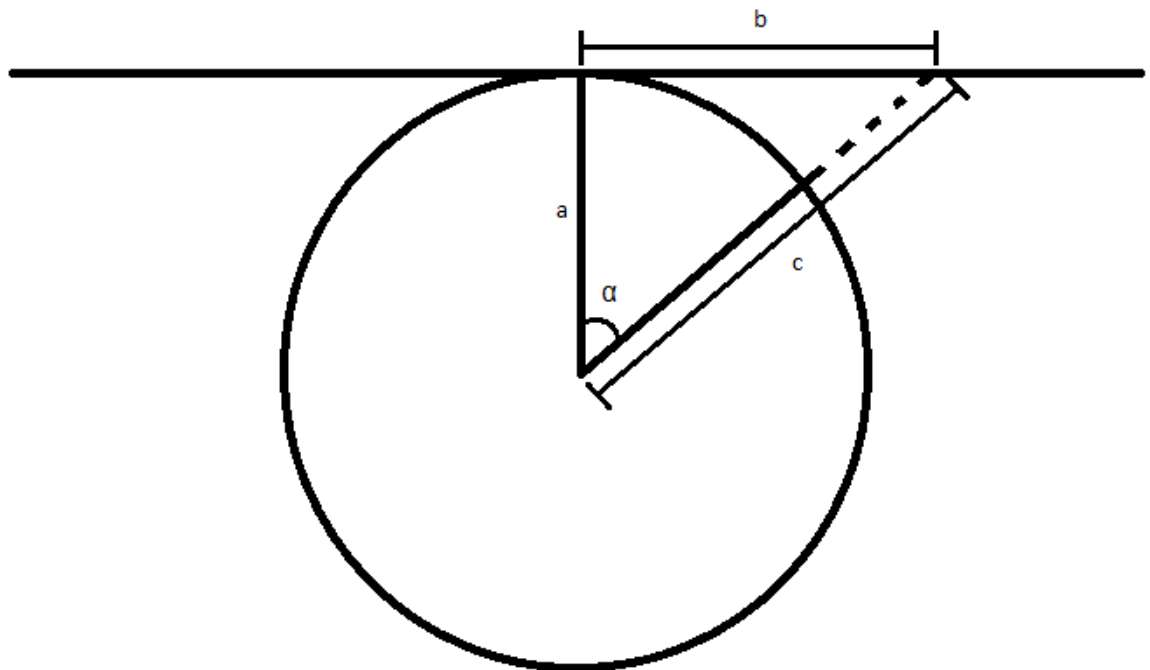
$$\cos \alpha = \frac{a}{c} \rightarrow c = \frac{a}{\cos \alpha}$$

joten

$$b = \sqrt{\left(\frac{a}{\cos \alpha}\right)^2 - a^2} \quad (7)$$

missä

- a on kohtisuora etäisyys umpiosta seinään
- c on tangentti
- α on asteluku ts. kulmakoordinaattiarvo



Kuvio 12. Havainnollistamiskuvio kulmakoordinaatin muuttamisesta mittayksiköksi

Kaaviota (7) käyttäen sopiva leveys valaistavalle seinälle on kuviota 13 tarkastellen:

$$b = \sqrt{\left(\frac{2500 \text{ cm}}{\cos 20^\circ}\right)^2 - 2500^2} = 909,9 \text{ cm} \approx 9,1 \text{ m}$$

Edelleen kuviota 13 tarkastellen ja kaaviota (7) käyttäen, sopiva korkeus valaistavalle seinälle on:

$$b = \sqrt{\left(\frac{2500 \text{ cm}}{\cos 10^\circ}\right)^2 - 2500^2} = 440,8 \text{ cm} \approx 4,5 \text{ m}$$

Ajovaloulumpion korkeudeksi täytyy valita korkeus, joka ei määräydy vain alimpien mittauspisteiden (25L ja 25R) mukaan. Seinälle on saatava valaistuksi myös alue I (Zone I).

Nyt kun ECE-R112-normin mukaisiin mittauksiin käytettävän valaistavan seinän koko on tiedossa, voidaan seuraavaksi tarkkailla kuviota 12 ajovalon suuntausta varten:

Ensinnäkin ajovalo on asennettava ajovalojentestauspöydälle niin, että se on mahdollisimman samassa asennossa, miten se olisi ajoneuvossakin.

Pystysuuntaus: Valorajan vaakaosa on oltava suoran B tasolla, joka on 1 prosentti (25 cm) suoran HH alapuolella.

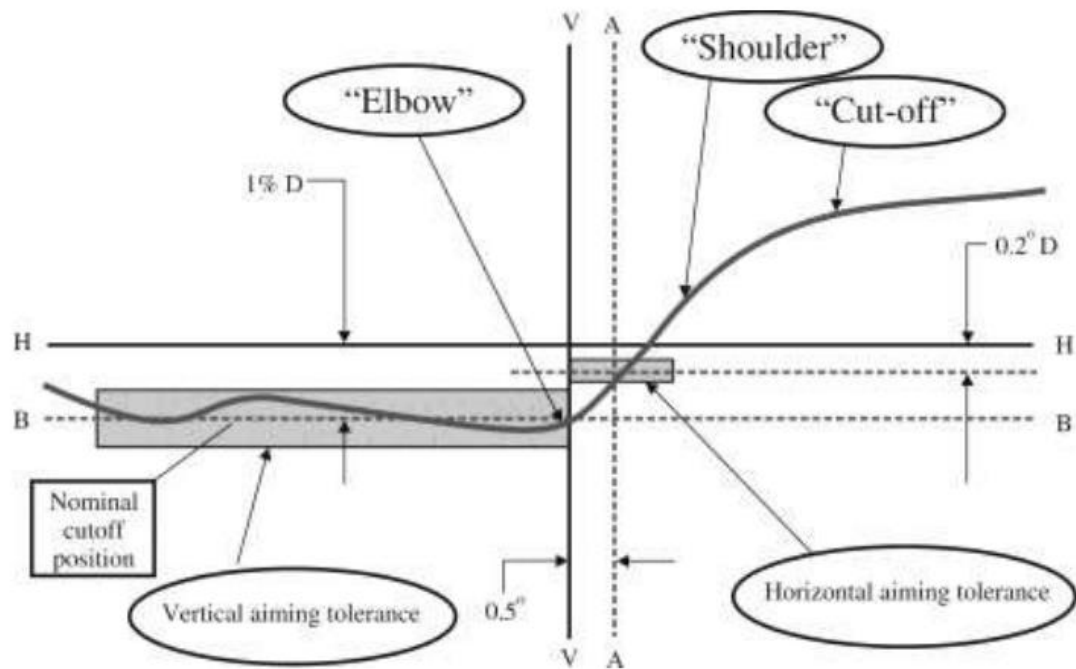
Vaakasuuntaus: Oikeanpuoleisen liikenteen ajovaloulumpion tapauksessa valorajan taivetta (Elbow) ja kohoavaa osaa (Cut-off) siirretään siten, että

- a) suoran $0,2^\circ$ D yläpuolella valorajan kohoava osa ei ulotu suoran A vasemmalle puolelle, ja
- b) suoralla $0,2^\circ$ D tai sen alapuolella valorajan kohoava osa leikkaa suoran A, ja
- c) taive (Elbow) asettuu pääosin $\pm 0,5$ astetta vasemmalle tai oikealle suorasta VV

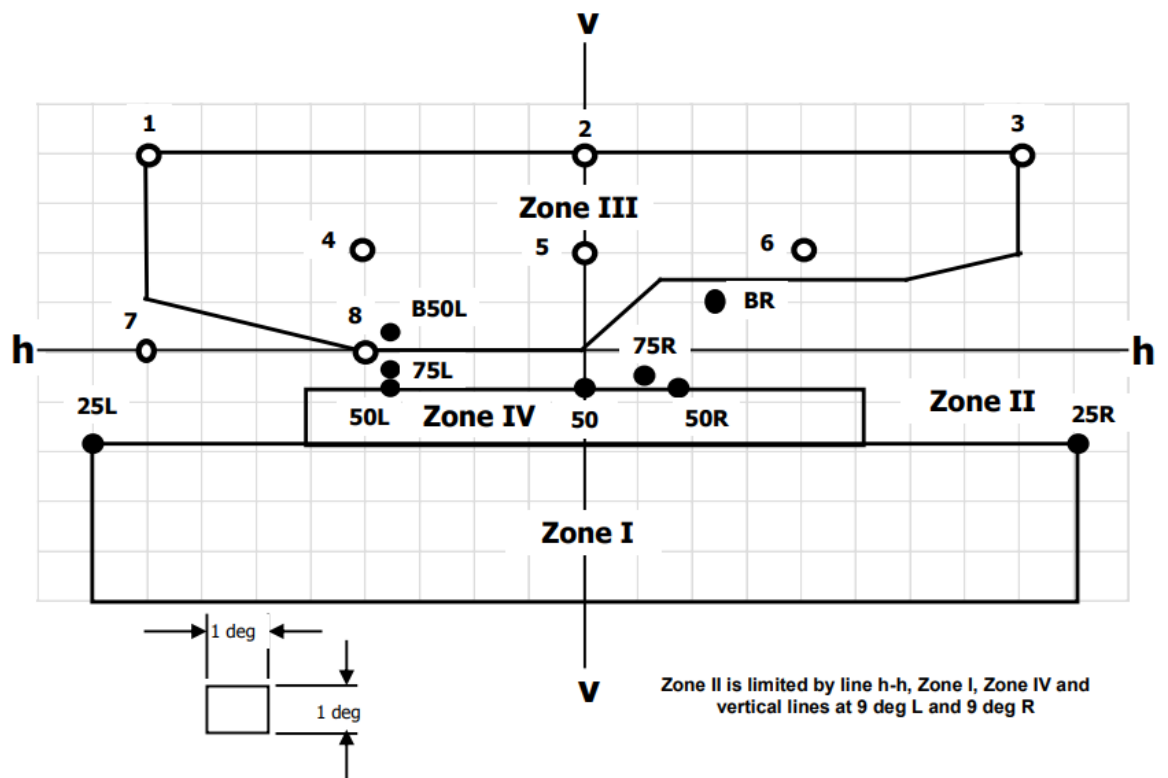
(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013, 16.)

Jos edellä mainittujen ohjeiden mukaisesti suunnattu umpio ei täytä taulukoissa 1, 2, ja 3 esitettyjä vaatimuksia, suuntausta voidaan muuttaa sillä edellytyksellä, että valokeilan akselia ei siirretä suoralta A vaakasuunnassa enempää kuin $0,5$ astetta vasemmalle tai $0,75$ astetta oikealle, eikä pystysuunnassa ylös tai alas enempää kuin $0,25$ astetta.

(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013, 17.)



Kuvio 13. Suuntauskuvio
(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3-E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013)



Kuvio 14. ECE-R112rev3 mittauskuvio
(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3-E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013)

Taulukko 1. ECE-R112rev3-mittaustaulukko
(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3
2013)

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**							Luokan A ajovalo		Luokan B ajovalo	
Mittauspiste				Mittauspiste asteina			Vaadittu valaistus kandeloina		Vaadittu valaistus kandeloina	
							Max	Min	Max	Min
B 50 L				0,57 U	3,43 L	350		350		
BR				1,0 U	2,5 R	1 750		1 750		
75 R				0,57 D	1,15 R		5 100		10 100	
75 L				0,57 D	3,43 L	10 600		10 600		
50 L				0,86 D	3,43 L	13 200***		13 200***		
50 R				0,86 D	1,72 R		5 100		10 100	
50 V				0,86 D	0				5 100	
25 L				1,72 D	9,0 L		1 250		1 700	
25 R				1,72 D	9,0 R		1 250		1 700	
Mikä tahansa piste alueella III (jota rajoittavat seuraavat koordinaatit asteina)							625		625	
8L	8L	8R	8R	6R	1,5R	V-V				
1U	4U	4U	2U	1,5U	1,5U	H-H				
Mikä tahansa piste alueella IV (0,86 D:stä 1,72 D:hen, 5,15 L:stä 3,15 R:än)								1 700		2 500
Mikä tahansa piste alueella I (1,72 D:stä 4 D:hen, 9 L:stä 9 R:än)							17 600		< 21*	

Huomiot:

Kirjain L tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin vasemmalla puolella.

Kirjain R tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin oikealla puolella.

Kirjain U tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin yläpuolella.

Kirjain D tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin alapuolella.

* Todellinen mitattu arvo pisteessä 50 R ja vastaavasti pisteessä 50 L.

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

*** Siinä tapauksessa, että ajovalaisin, jossa LED-moduulit tuottavat lähivaloa yhdessä elektronisella valonlähteen säätölaitteella, mitattu arvo saa olla enintään

18 500 cd.

Mittauspisteissä olevat numeroarvot tarkoittavat pisteen vastaavuutta maantiellä metrisesti ilmaistuna. Lisäksi jokaisessa taulukossa on annettu nimellisarvot, jotka ajovalon tulisi saavuttaa. Esimerkiksi pisteet 75 L ja 75 R tarkoittavat maantien

vasenta ja oikeaa reunaa 75 metrin etäisyydellä, kun taas 50 L ja 50 R maantien vasenta ja oikeaa reunaa 50 metrin etäisyydellä, kun taas piste 50 (50 V) on tienpinta kohtisuoraan valaisimesta 50 metrin etäisyydellä. Samaan tapaan jatkaen, pisteet 25 L ja 25 R tarkoittavat 9 astetta vasemmalle ja oikealle keskilinjasta V–V, 25 metrin etäisyydellä ja tien pinnan korkeudella. Piste B 50 L on vastaantulijan silmätaso 50 metrin etäisyydellä. Piste BR taas ilmoittaa valovoimaa valokuvion kohoavassa osassa.

Taulukko 2. ECE-R112rev3-mittaustaulukko 2
(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013)

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**			
Mittauspiste	Kulmakoordinaatti asteina		Vaadittu valovoima, kandelaar (vähintään)
1	4 U,	8 L	Pisteet 1 + 2 + 3 = 190
2	4 U,	0	
3	4 U,	8 R	
4	2 U,	4 L	Pisteet 4 + 5 + 6 = 375
5	2 U,	0	
6	2 U,	4 R	
7	0 ,	8 L	65
8	0 ,	4 L	125

Huomiot:

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

Piste 2 tarkoittaa valovoimaa kohtisuoraan valaisinta nähden, keskilinjasta H–H, 4 asteen korkeudessa (kaavaa 7 käyttäen, keskilinjasta H–H 1,75 metriä ylöspäin). Pisteet 1 ja 3, jotka ovat samalla korkeudella kuin pisteessä 2, mutta 8 astetta vasemmalle ja oikealle (kaavaa 7 käyttäen, keskilinjasta V–V, 3,51 metriä vasemmalle, sekä oikealle). Pisteissä 4–6, korkeus on edellisten pisteiden tapaan sama, näissä tapauksissa 2 astetta keskilinjasta H–H (kaavaa 7 käyttäen, keskilinjasta H–H, 0,87 metriä ylöspäin), kun taas pisteissä 4 ja 6, 4 astetta vasemmalle ja oikealle (kaavaa 7 käyttäen, keskilinjasta V–V, 1,75 metriä

vasemmalle ja oikealle). Pisteet 7 ja 8 ovat keskilinjalla H–H, mutta piste 7, 8 astetta linjan V–V vasemmalla puolella (kaavaa 7 käyttäen, keskilinjasta V–V, 3,51 metriä vasemmalle) ja piste 8, 4 astetta linjan V–V vasemmalla puolella (kaavaa 7 käyttäen, keskilinjasta V–V, 1,75 metriä vasemmalle).

Lisäksi mittakuviossa 14 on neljä aluetta (Zonet), joilta mitataan maksimi valovoimat. Alueet ovat selkeästi näkyvillä mittauskuviossa. Alue kahden (2) rajat on ilmoitettu kuvion oikeassa alakulmassa, mikä siis rajoittuu korkeudeltaan H–H linjan, sekä alueen 1 ylärajaan, ja leveydeltään alueen 4 oikeaan reunaan, sekä pisteeseen 25 R, muodostaen näin suorakulmaisen alueen. Alue on erikoinen, koska taulukoihin aluetta ei ole edes merkitty, joten tämän alueen merkitys on jäänyt kysymykseksi.

Taulukko 3. ECE-R112rev3-mittaustaulukko 3
(E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013)

		Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste	Kulmakoordinaatti asteina	Vaadittu valovoima, kandela	Vaadittu valovoima, kandela
		Min	Min
I _{max}		27 000	40 500
H - 5 L	0,0 , 5,0 L	3 400	5 100
H - 2,5 L	0,0 , 2,5 L	13 500	20 300
H - 2,5 R	0,0 , 2,5 R	13 500	20 300
H - 5 R	0,0 , 5,0 R	3 400	5 100

Taulukossa 3 on annettu mittauspisteet kaukovalon mittausta varten. Nämä kaikki pisteet sijaitsevat linjalla H–H, vain horisontaalisesti eri alueilla. Normin mukaan kuvion pysty- ja vaakalinjojen risteyskohdan (H–V) tulisi sijaita kaukovalojen mittauksessa niin, että valaisimen tuottamasta suurimmasta valovoimasta risteyskohdassa on 80 prosentin valovoima maksimiin nähden. Joka tapauksessa ajovalon kaukovalon valovoima ei saa missään tapauksessa ylittää 215 000 kandelan arvoa. Mitattu valovoima saadaan muutettua ajovalon referenssiluvuksi seuraavalla yksinkertaisella kaavalla:

$$I'_{max} = \frac{I_{max}}{4300} \quad (8)$$

Laskettu arvo lopulta pyöristetään johonkin seuraavista arvoista ilmoittaen näin ajovalon referenssiluku: 7.5 - 10 - 12.5 - 17.5 - 20 - 25 - 27.5 - 30 - 37.5 - 40 - 45 - 50. (E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3-E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3 2013, 21.)

Ajovalojen luokista voisi olla täysin oma osionsa, koska siitä löytyy tietoa sivukaupalla. Tässä työssä ei tulla ajovalojen luokista kertomaan sen enempää.

6.3 ECE-R98

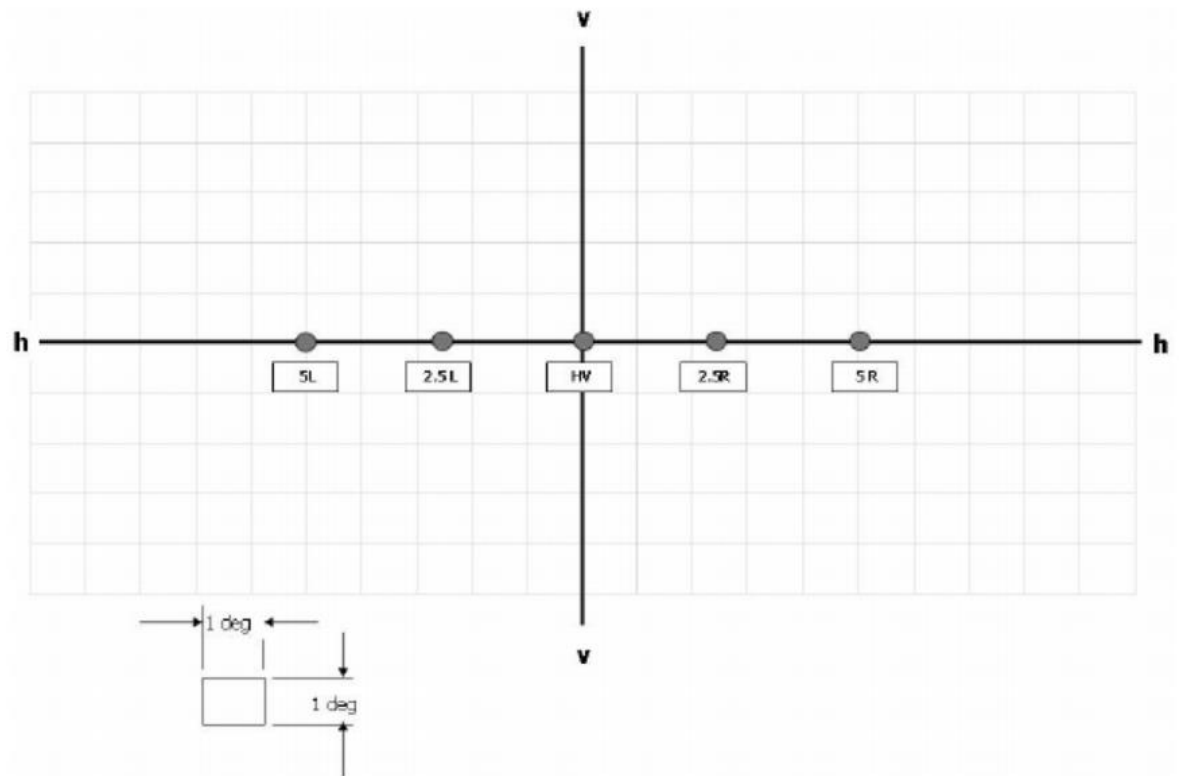
ECE-R98 on R112-normista poiketen kaasupurkauspolttimoille tarkoitettujen ajovalojen mittauksia varten. Mittaukset suoritetaan myös yhdellä ajovaloumpiolla, 25 metrin etäisyydeltä. ECE-R98-normi ei poikkea suuremmalti ECE-R112-normista muulla tavoin kuin että mittauspisteitä on useampia ja ne sijoittuvat huomattavasti leveämmälle. Lisäksi mittauspisteiden valovoima-arvoilla on eroja näiden kahden normin välillä. Ajovalon suuntaus mittauskuvioon toteutetaan myös samalla tavalla, kuin jo ECE-R112-normin yhteydessä on selostettu. Kuviosta 15 on mahdollista nähdä mittauspisteet ja taulukosta 4 mittauspisteiden tarkat sijainnit ja valovoima-arvot. Kuten ECE-R112-normin kohdalla, voidaan ECE-R98-normin kohdalla selvittää kaavan 7 avulla valaistavan seinän koko:

Sopiva leveys:

$$b = \sqrt{\left(\frac{2500 \text{ cm}}{\cos 40^\circ}\right)^2 - 2500^2} = 2097,8 \text{ cm} \approx 21 \text{ m}$$

Sopiva korkeus:

$$b = \sqrt{\left(\frac{2500 \text{ cm}}{\cos 10^\circ}\right)^2 - 2500^2} = 440,8 \text{ cm} \approx 4,5 \text{ m}$$



Kuvio 16. ECE-R98-normin kaukovalon mittauskuvio
(Euroopan unionin virallinen lehti 2014)

Kaukovalojen mittauspisteet sijaitsevat myös samoissa mittauspisteissä, kuin ECE-R112-normissa.

Taulukko 4. ECE-R98-mittaustaulukko 1
(Euroopan unionin virallinen lehti 2014)

Piste tai segmentti								Valovoima (cd)		Vaakakulma (astetta)	Pystykulma (astetta)
Nimi (**)								Max	Min		
Kaikki pisteet alueella A (seuraavien koordinaattien rajaama - astetta)								625			
8 L	8 L	8 R	8 R	6 R	1,5 R	V-V	4 L				
1 U	4 U	4 U	2 U	1,5 U	1,5 U	H-H	H-H				
2				B 50 L				350		3,43 L	0,57 U
3				75 R					12 500	1,15 R	0,57 D
4				50 L				18 480		3,43 L	0,86 D
5				25 L1				18 800		3,43 L	1,72 D
6				50 V					7 500	0	0,86 D
7				50 R					12 500	1,72 R	0,86 D
8				25 L2					2 500	9 L	1,72 D
9				25 R1					2 500	9 R	1,72 D
10				25 L3					1 250	15 L	1,72 D
11				25 R2					1 250	15 R	1,72 D
12				15 L					625	20 L	2,86 D
13				15 R					625	20 R	2,86 D
14									(*)	8 L	4 U
15									(*)	0	4 U
16									(*)	8 R	4 U
17									(*)	4 L	2 U
18									(*)	0	2 U
19									(*)	4 R	2 U
20									65	8 R	0
21									125	4 L	0
A-B				Segmentti I					3 750	5,15 L - 5,15 R	0,86 D
C-D								1 750		2,5 R	1 U
E-F				Segmentti III ja alapuolella				12 500		9,37 L - 8,53 R	4,29 D
				E max R				43 800		Suoran V-V oikealla puolella	Yli 1,72 D
				E max L				31 300		Suoran V-V vasemmalla puolella	

Huomautus: Taulukon merkintöjen selitykset:

Kirjain L osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V vasemmalla puolella.

Kirjain R osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V oikealla puolella.

Kirjain U osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H yläpuolella.

Kirjain D osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H alapuolella.

(*) Valaistusarvojen pisteissä 14-19 on oltava sellaiset, että

$$14 + 15 + 16 \geq 190 \quad \text{cd ja}$$

$$17 + 18 + 19 \geq 375 \quad \text{cd.}$$

(**) Kirjaimen R asemasta käytetään vasemmanpuoleisen liikenteen osalta kirjainta L ja päinvastoin.

Taulukko 5. ECE-R98-mittaustaulukko 2
(Euroopan unionin virallinen lehti 2014)

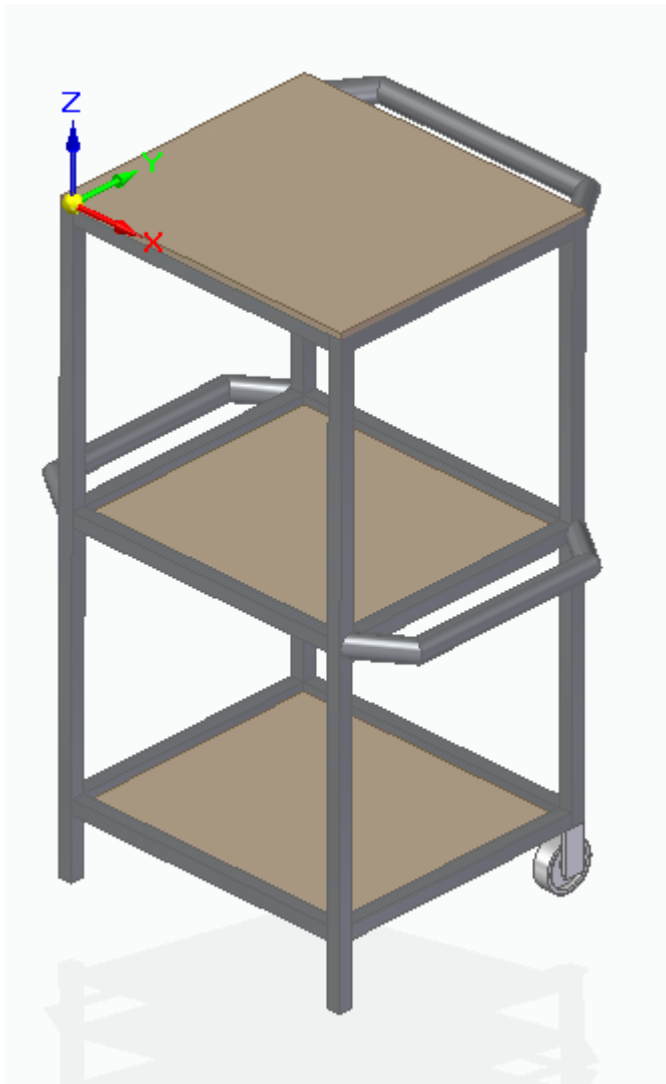
Testauspiste	Kulmakoordinaatit (astetta)	Vaadittava valovoima (cd)
		Min
H - 5 L	0 , 5,0 L	6 250
H - 2,5 L	0 , 2,5 L	25 000
H - 2,5 R	0 , 2,5 R	25 000
H - 5 R	0 , 5,0 R	6 250

Ks. sivun 48 taulukon 3 selostus. Sama pätee myös taulukkoon 5. Eroavaisuutena tässä ECE-R98-mittaustaulukossa ei I_{\max} :ia ole merkitty, mutta se on silti mitattava samalla tavalla, kuin normissa ECE-R112, jolloin saadaan kaavalla 8 ratkaistuksi ajovaloumpion referenssiluku.

7 AJOVALOTESTAUSPÖYDÄN VALMISTUS

7.1 Ajovalotestauspöytä

Aikaisempi SeAMK autolaboratorion ajovalopöytä on turhan raskasrakenteinen ja ajovalomittauksia varten turhan matala ja järeätekoinen, oli syytä rakentaa helpommin käsiteltävä ja siirreltävä pöytä. Pöytä täytyi suunnitella niin, että sillä voidaan toteuttaa ajovalomittaukset 10 metrin etäisyydeltä ja sillä on myös kyettävä toteuttamaan helposti muitakin laboratoriossa toteutettavia ajovaloihin liittyviä mittauksia/kokeita. ECE-normien taulukoita tarkkaillen sopiva pöydän korkeus voidaan määritellä. Pöydän on oltava niin korkea, että alhaisimman mittauspisteen valaistusvoimakkuus voidaan mitata. Tässä tapauksessa alhaisin piste on ECE-R98-taulukon 4 kohdassa E–F mainittu astekoordinaatti 4.29 D ja sen alle. 10 metrin etäisyydellä tämä tarkoittaa siis 75 senttimetriä mittauskuvion keskilinjasta alaspäin ja tämän alle. Tämän tiedon perusteella pöytä on päätetty rakentaa 90 senttimetrin korkuiseksi. Tällöin ajovalon keskipisteen korkeus useimmissa ajovaloumpioissa on arviolta 95–100 senttimetrin korkeudessa ja ECE-R98 E–F-linjan alitus on vähintään 20 senttimetrin luokkaa, mikä on kyllä riittävä. Korkeus on myös ergonominen, koska opiskelijoiden käsitellessä ajovaloumpiota telineessään, voidaan se suorittaa kyyristelemättä. Pöytä on suunniteltu kolmitasoiseksi ja runko on nelikulmaista 20x20-huonekaluteräsputkea. Tasot ovat 10 mm:n paksuista vaneria. Alimmalle tasolle kytketään akku, jolloin painopiste saadaan alhaiseksi. Pöytään asennetaan pyörät kuljettamisen helpottamiseksi, sekä lisäksi kantamista varten asennetaan kantokahvat. Kuvassa 10 on ajovalojentestauspöytä luonnosteltuna Solid Edge CAD -piirrustusohjelmalla. Piirrustukset löytyvät liitteestä.



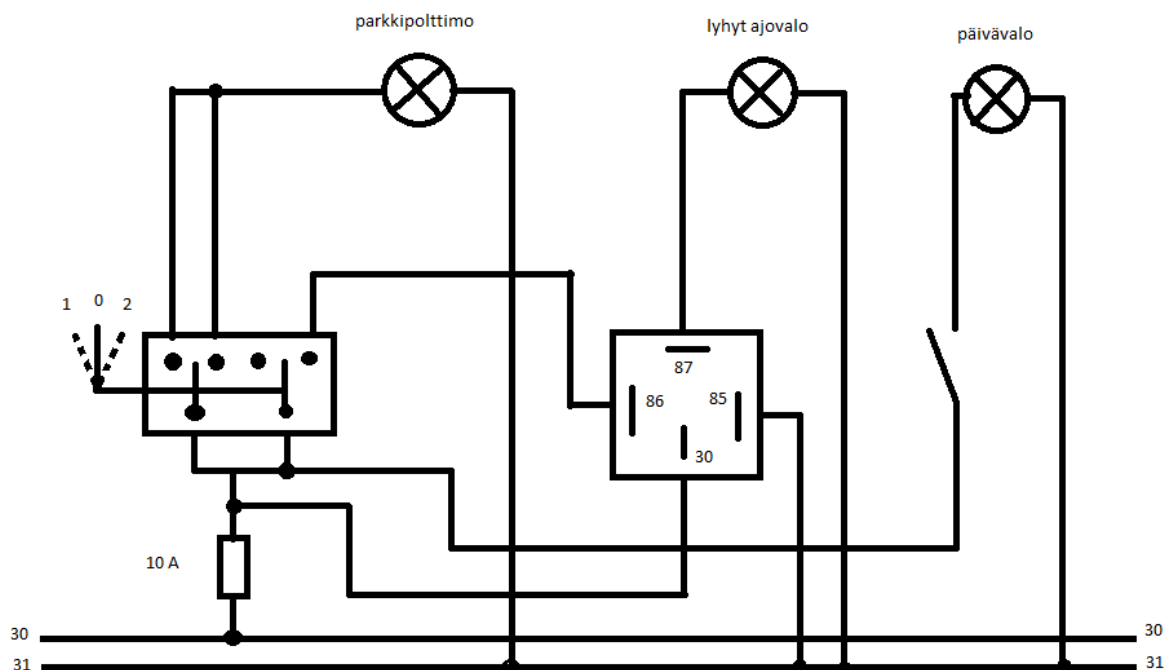
Kuva 10. Ajovalontestauspöytä Solid Edgellä piirrettynä

7.2 Sähköistys

Seuraavaksi pöytään on asennettava aikaisemmasta autolaboratorion käytössä olleesta testauspöydästä sähköjärjestelmä. Suunnitelma oli päivittää sähköjärjestelmä kehittyneemmäksi, mutta ajan puutteellisuuden takia on päätetty asentaa jo olemassa oleva sähköjärjestelmä. Lamppujen kiinnitys toteutetaan yksinkertaisella menetelmällä. Pöydän puiset tasot mahdollistavat esimerkiksi ajovaloumpion kiinnittämisen ruuvaamalla umpio suoraan kanteen kiinni.

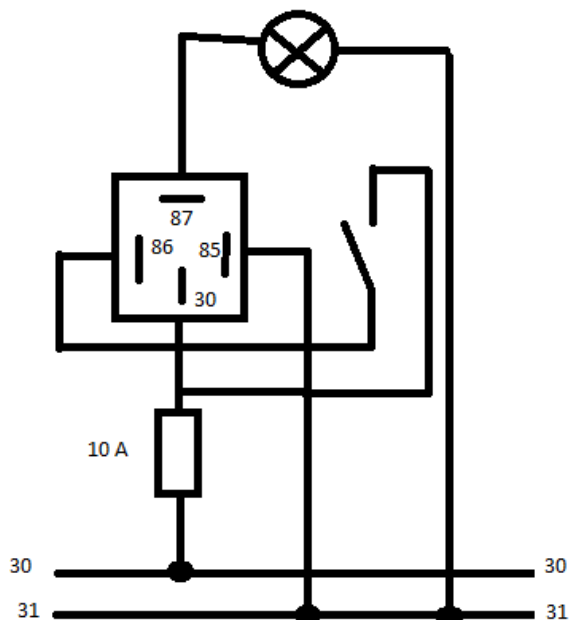
Mahdollista on kiinnittää umpio myös esimerkiksi kuormaamiseen tarkoitetuilla "mustekala" -kumiköysillä.

Ajatus oli toteuttaa lyhyen ajovalon osalta niin, että parkkipolttimo on toiminnassa yhdessä lyhyen ajovalon kanssa, kuin ajoneuvoissa normaalistikin. Yksinkertaisimmillaan kytkentä oli mahdollista toteuttaa kuusinapaisella on-off-on -katkaisimella. Parkkipolttimolle ei tule releohjausta, toisin kuin muilla polttimoilla päiväajovaloa lukuunottamatta, joka on myös kytketty katkaisimen kautta suoraan akulta. Haittapuolena kyseisessä kytkennässä on, että kaukovalon kytkettäessä päälle ainakin osassa ajoneuvoista lyhyet ajovalot kytkeytyvät pois käytöstä (esimerkiksi H4-polttimolla varustettu ajovaloumpio). Näissä tapauksissa kun kaukovalo kytketään päälle, joudutaan lyhyt valo kytkemään pois käytöstä, jolloin myös parkkipolttimo ei ole kytkeytyneenä. Kyseistä ongelmaa ei ole esimerkiksi H3-polttimoilla varustetuissa ajovaloumpioissa, koska lyhyet ja pitkät ovat kytkeytyneenä samanaikaisesti kaukovalon ollessa kytkettynä.

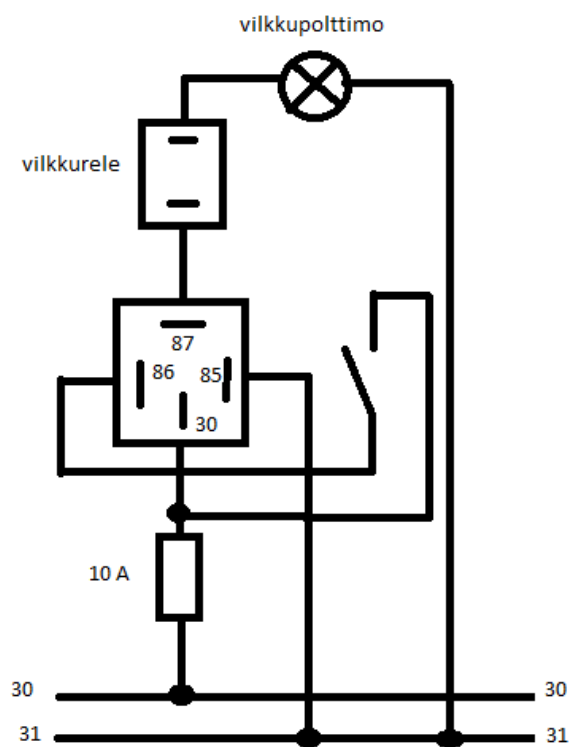


Kuvio 17. Lyhyen ajovalon, parkkipolttimon ja päivävalon kytkentäkaavio

Kaukovalon, lisävalon ja myös suuntavalon kytkentään on käytetty ns. ”perinteistä” relekytkentää (kuvio 18). Vilkkupolttimon johtimen väliin on muista eroten kytketty elektroninen vilkkurele (kuvio 19).



Kuvio 18. Kaukovalon ja lisävalon kytkentäkaavio



Kuvio 19. Suuntavalon kytkentäkaavio

8 AJOVALOJEN MITTAUS

Seuraavaksi työssä on tarkoitus lähteä kertomaan ajovalojen mittauksista, joissa tutkitaan valovoiman muutoksia suhteessa ajovalon kuntoon. Tämä tarkoittaa siis sitä, että ajovalolla suoritetaan mittauksia niin, että mittaukset toteutetaan puhtaalla ja likaisella ajovaloumpiolla/-umpioilla. Ajovaloa likaamalla saadaan vertailukohtaisia tuloksia, joita voidaan verrata myös esimerkiksi ajovalon iänmyötä muodostuneeseen kulumiseen ajovalon lasissa. Ajovalojen lasit on valmistettu useimmiten muovista, joten likaamisella simuloidaan myös muoviin muodostunutta sameutta. Ajovalot likaantuvat joka tapauksessa tien päällä kuljettaessa, joten mittauksilla saadaan myös tuloksia siihen, kuinka tärkeää on pitää ajovalot puhtaina. Ajovalojen heijastinpinnat kuluvat myös ajan saatossa, mutta mittauksissa käytettäviin ajovaloihin ei ole tarkoitus aiheuttaa pysyvää vauriota, joten ajovalon kunnan ”muokkaamiseen” käytetään vain turvallista ulkoista menetelmää ts. lasin sotkemista. Mittauksissa käytetään umpiota/umpioita, johon/joihin asennetaan vertailtavaksi muutossarjat (esimerkiksi halogen – xenon, halogen – led).

Mittaustyötä suunnitellessa ensimmäinen ja suurin ongelma on virallisissa mittauksissa käytettävät hyvinkin laajat mittasuhteet. Mittaukseen vaadittavat tilat ja olosuhteet ovat erittäin haastava toteuttaa virallisilla mitoilla. Varsinkin ksenon-polttimolla varustetulla ajovalolla etäisyydet ovat valtavat. Tällä tarkoitetaan sitä, että tila, jossa etäisyyttä valaistavaan seinään olisi 25 metriä, valaistavan seinän korkeus x leveys olisi vähintään 4,5 x 21 metriä, on SeAMK autolaboratorioympäristössä mahdoton toteuttaa. Itse työn tekijälläkään ei tähän mittakaavaan ole mahdollisuutta mittauksia toteuttaa. Myös rakennettava ajovalojen testauspöytä olisi oltava 25 metrin etäisyydellä ainakin 2 metriä korkea. Tästä syystä mittauksia ei tulla tekemään normien virallisten mittojen mukaan, vaan annetuista mitoista ja valovoima-arvoista on tehty laskelmat, joiden avulla mittauspisteiden sijainti ja valovoima-arvot muuttuvat ajovalon ja valaistavan seinän etäisyyden suhteena. Laskelmat on toteutettu Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Laaditun ”muuntimen” avulla tässä työssä tullaan esittämään 10 metrin etäisyyttä valaistavaan seinään. Lisäksi rakennettava ajovalojen testauspöytä on mitoitettu mahdollistamaan mittaukset tältä etäisyydeltä. Tärkeintä mittauksissa on se, että

saadaan vertailukohtaisia tuloksia keskenään, siksi mittauksia ei ole välttämätön toteuttaa normien määäämien mittasuhteiden mukaan.

Muunnostaulukot perustuvat siis kaikkiin edellä mainittuihin taulukoihin 1–5, joiden arvot muuttuvat annetun etäisyyden mukaan. Muunnostaulukoita on jokaisesta edellä mainitusta taulukosta tehty kaksi kappaletta, joista ensimmäiset taulukot muuntavat valovoiman (kandelat) annetun etäisyyden suhteessa, jonka lisäksi muutetaan astekoordinaatit senttimetreiksi. Toiset taulukot taas muuntavat valovoima-arvot valaistusvoimakkuusarvoiksi eli lukseiksi. Tämä muunnos mahdollistaa mittauksen toteuttamisen luksimittarilla. Lisäksi on luotu tyhjä taulukko itse mittauksia varten ja tästä muunnostaulukko luksiarvoista takaisin kandeloiiksi. Taulukot löytyvät liitteinä.

Mittaus aloitetaan sopivan mittausympäristön löydyttyä. Mittausympäristön täytyy olla mahdollisimman hyvin muulta valosaasteelta suojattu ja mahdollisimman heijastamaton. Vertailukohtaisia mittauksia varten mittausympäristön täytyisi olla vain mahdollisimman stabiili, eli esimerkiksi ulkoilmassa toteutettujen mittauksen ajankohta on oltava niin, ettei valoisuus ympäristössä muutu mittauksen aikana. Mittauksia varten myös hyvin tärkeää on kiinnittää ajovalo ajovalojentestauspöytänsä niin, ettei ajovalo pääse liikahtamaan ajovaloa käsitellessä, kuten esimerkiksi polttimoita vaihdettaessa. Havainnollistamisen vuoksi seuraavaksi on esitelty kuvin mittausympäristön luominen 10 metrin etäisyydelle. Havainnollistamiskuvissa ajovaloa ei ole kiinnitetty asianmukaisesti pöytänsä kiinni ja valoisuuden vuoksi valokuvio ei ole nähtävissä valaistavassa seinässä.



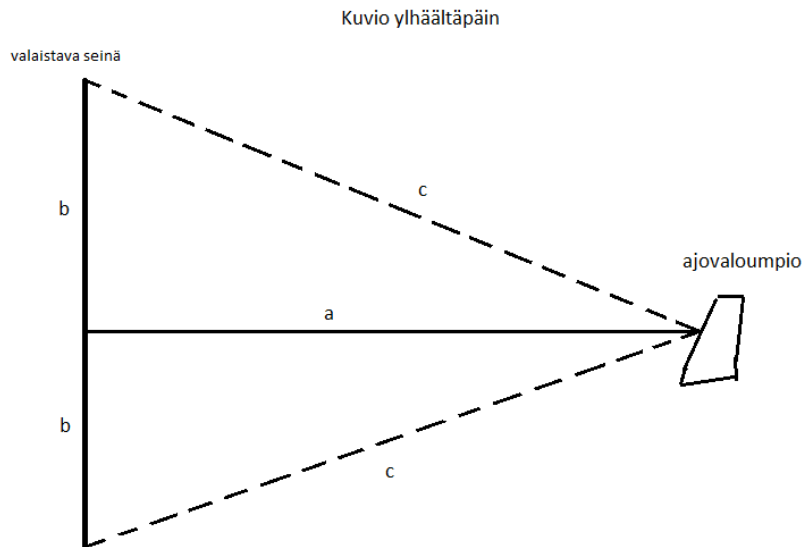
Kuva 11. Ajovalotestauspöytä toiminnassa

Kuvassa 11 ajovalojentestauspöytä on toiminnassa. Ajovaloon on kytketty lyhyt ajovalo päälle. Kuvasta 11 on myös nähtävissä, kuinka akun viereen on sijoitettu laturi lataamaan akkua jatkuvasti. Tällä saadaan estettyä akun liiallinen varauksen purkautuminen, joka vaikuttaa polttimon valovoimaan halogen-polttimoilla. Lisäksi olisi tärkeää pitää jännite järjestelmässä lähelle ajoneuvon latausjännitettä 13,8 – 14,5 voltia. Malliesimerkkitapauksessa jännite pysyi vain 12,5 voltin tietämällä. Pöytä on oltava myös mahdollisimman vaaterissa, joten malliesimerkissä epätasaisen alustan tasaamiseksi, pöytä on ”kiilattu” vaakasuoraan. Ajovalon on oltava myös asennettuna pöytään niin että se on samassa asennossa, kuin se olisi ajoneuvossakin.



Kuva 12. Mittausympäristön malli

Ajovalo sijoitetaan 10 metrin päähän valaistavasta seinästä. 10 metrin etäisyys määräytyy valaisevan valaisimen linssin ja valaistavan seinän välille. Kuvasta 13 on merkitty punaisella rastilla lyhyen ajovalon keskipiste, jonka kohdalta ajovalon linssistä etäisyys valaistavaan seinään mitataan. Jotta ajovalojentestauspöytä ja ajovaloumpio saataisiin mahdollisimman keskelle valaistavaa seinää, voidaan apuna käyttää kuviossa 20 esitettyä menetelmää. Ideana on käyttää Pythagoran lausetta selvittääkseen etäisyys valaistavan seinän nurkista valaisevan valaisimen keskipisteeseen. Etäisyyden ollessa sama molemmista nurkista valaisimen keskipisteeseen, silloin valaisin on keskellä valaistavaa seinää.



Kuvio 20. Havainnollistamiskuva umpion sijoittamisesta tietyllä etäisyydelle

Ratkaistaan kuvion 20 tangentti c :

$$c^2 = a^2 + b^2 \rightarrow c = \sqrt{a^2 + b^2} \rightarrow c = \sqrt{10^2 \text{ m} + 3^2 \text{ m}} \rightarrow c = 10,44 \text{ m}$$

10 metrin etäisyydellä ja seinän kokonaisleveyden ollessa 6 metriä, molemmista valaistavan seinän nurkista etäisyys on 10,44 metriä valaisevan valaisimen keskipisteeseen.



Kuva 13. Audi 100-mallin ajovaloumpio



Kuva 14. Valaistava seinä mittauspisteineen (ECE-R112)

Tässä malliesimerkissä käytetään normin ECE-R112 mittaussympäristön määritelmiä. Valaistavan seinän leveys on 6 metriä ja korkeutta noin 2,6 metriä. Keskipiste (kuvassa 14 keskellä pystysuunnassa kolmesta rastista alin) määräytyy sen mukaan missä valaisevan valaisimen keskipiste sijaitsee. Kuvassa 13 näkyy malliesimerkissä käytetty Audi 100-mallin ajovaloumpio. Kuvaan on merkitty punaisella rastilla merkki havainnollistamaan lyhyen ajovalon keskipistettä. Ajovalon ollessa malliesimerkissä pöydän päällä, on pöydän tasosta korkeutta lyhyen ajovalon keskipisteeseen noin 13 senttimetriä. Tämän ollessa tiedossa sijoitettiin laservaaituslaite pöydälle niin, että lasersäde oli 13 senttimetrin korkeudessa, jolloin saatiin valaistavaan seinään merkittyä keskipiste. Vaaituslaitteessa oli vaaka-, sekä pystysäde, joiden avulla keskipiste oli mahdollista merkitä seinään. ECE-R112-normi ollessa kyseessä, tarkkaillaan kuviota 14 (s. 45 tai liite 1) ja taulukkoja 1–3 (s. 46–48), joiden perusteella eri mittauspisteiden sijainti voidaan merkitä seinään. Taulukoissa 1–3 pisteet ovat astekoordinaatteina, mutta muunnokset astekoordinaateista senttimetreiksi 10 metrin etäisyydelle löytyvät liitteistä 2–4. Vaihtoehtoisesti, jos ollaan tekemässä ksenonvalaisimelle mittauksia (ECE-R98), tällöin tarkastellaan kuviota 15 (s. 50 tai liite 5) ja taulukkoja 4 ja 5 (s. 52–53). Muunnokset astekoordinaateista senttimetreiksi 10 metrin etäisyydellä löytyvät liitteistä 7 ja 8. Kaukovalojen mittaukseen käytetään molemmissa normeissa kuviota

16 (s. 51 tai liite 6). Taulukot 3 (liite 4) ja 5 (liite 8) ovat kaukovalojen mittausta varten. Mittauspisteitä kaukovalolle ei ole malliesimerkissä (kuva 14) merkitty.

Ajovalon suuntausta varten tarkkaillaan kuviota 13 (s.45), jossa huomataan, että valon vaakarajan on oltava 1 % alaspäin keskilinjasta. 1 % 10 metrin etäisyydellä on:

$$1000 \text{ cm} * 0.01 = 10 \text{ cm}$$

Valon vaakaraja siis suunnataan ajovaloumpion säätimistä osoittamaan 10 cm alaspäin mittauskuvion vaakakeskilinjasta alaspäin ja valokuvion "taite" sijoitetaan pystykeskilinjalle.

Näiden toimenpiteiden suoritettua, voidaan alkaa ottamaan tuloksia luksimittarilla seinään merkittyjen pisteiden kohdilta ja kirjata ne Excel-tilukkuoon, joka löytyy liitteestä 2, sivulta 4 ja liitteestä 3, sivulta 2. Tai vaihtoehtoisesti ksenonumpion ollessa kyseessä, liitteestä 7, sivulta 4. Kaukovalon mittausta varten taulukot liitteestä 4, sivulta 2 (ECE-R112) ja liitteestä 8 (ECE-R98). Mittaukset toteutetaan puhtaalla ajovaloumpiolla ja liatulla ajovaloumpiolla. Puhutaan ajovaloumpion lasista "lasina", koska lasi on ajoneuvosta riippuen valmistettu joko lasista tai muovista. Likaaminen simuloi ajovaloumpion "lasin" kuntoa, joko maantiestä irronneesta liasta ja ilmansaasteista muodostunutta likaantumista tai esimerkiksi muovisella "lasilla" varustettujen ajovaloumpioiden sameentuneisuutta. Myös heijastinpintojen lämmönvaikutuksesta muodostuneita vaurioita tai umpion sisään päässeän lian vaikutuksesta. Syytä ei ole vaurioittaa ajovaloumpiota pysyvästi, joten on sallittavaa liata vain umpion "lasi" ulkoisesti. Mittaukset toteutetaan esimerkiksi seuraavassa järjestyksessä halogenumpion ollessa kyseessä:

- Halogenpolttimolla ja puhtaalla "lasilla".
- Halogenpolttimolla ja liatulla "lasilla".
- Muutossarjalla ja puhtaalla "lasilla".
- Muutossarjalla ja liatulla "lasilla".

Näin saadaan vertailukohtaisia mittauksia toteutetuksi ja tuloksista on huomioitava miten likaantuminen ja muutossarjat vaikuttavat valovoimaan, valokuvioon ja erityisesti hajavalon muodostumiseen.

Työn ohessa luovutetaan toimivat Excel-taulukot SeAMK autolaboratorion käyttöön.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa helposti siirreltävä ja käsiteltävä ajovalotestauspöytä. Kriteereinä oli välttää ylimääräistä painoa ja mahdollisuus siirreltävyyteen yhden henkilön voimin. Ratkaisuksi saatiin aikaan pyörillä vedettävä pöytä, minkä lisäksi asennettiin kantokahvat pöydän molemmin puolin helpottaen pöydän kantamista tai nostamista (kuva 15). Pöytään asennettiin sähköjärjestelmä, joka mahdollistaa ajovalon kytkennän pöytään ilman ulkoisia virtalähteitä (kuvat 16–18). Pöytä ei tarvitse toimiakseen mitään erillistä ulkoista virtalähdettä, mutta syytä on ajovaloja testattaessa kytkeä akkuun erillinen akkulaturi, joka ylläpitää akun varauksen ja samalla nostaa järjestelmän jännitteen lähemmäksi ajoneuvon latausjännitettä. SeAMK autolaboratoriolla jo aikaisemmin käytössä olleesta ajovalotestauspöydästä saatiin kyseinen sähköjärjestelmä käyttöön. Sähköjärjestelmä päivitettiin ainoastaan pysäköintivalon ja suuntavalon osalta. Ns. haaveena olisi ollut kehittää sähköjärjestelmä väylätekniikalla, mutta ajatus vaikutti niin ongelmalliselta, ettei aika riittänyt tällaisen kehittelemiseksi. Pöydän suunnittelussa otettiin myös huomioon, että pöydällä on mahdollisuus toteuttaa täysimittainen ECE-normien mukainen ajovalojenmittaus. Siitä syystä kantokahvojen ja katkaisimien sijainti on sijoitettu hieman alemmaksi. Täysimittaista ksenonajovalojen mittausta varten pöytä joudutaan nostamaan noin metrin korkuiselle alustalle, jolloin ajovalo saadaan reilun kahden metrin korkeuteen ja tällä korkeudella katkaisimia on helppo käsitellä.



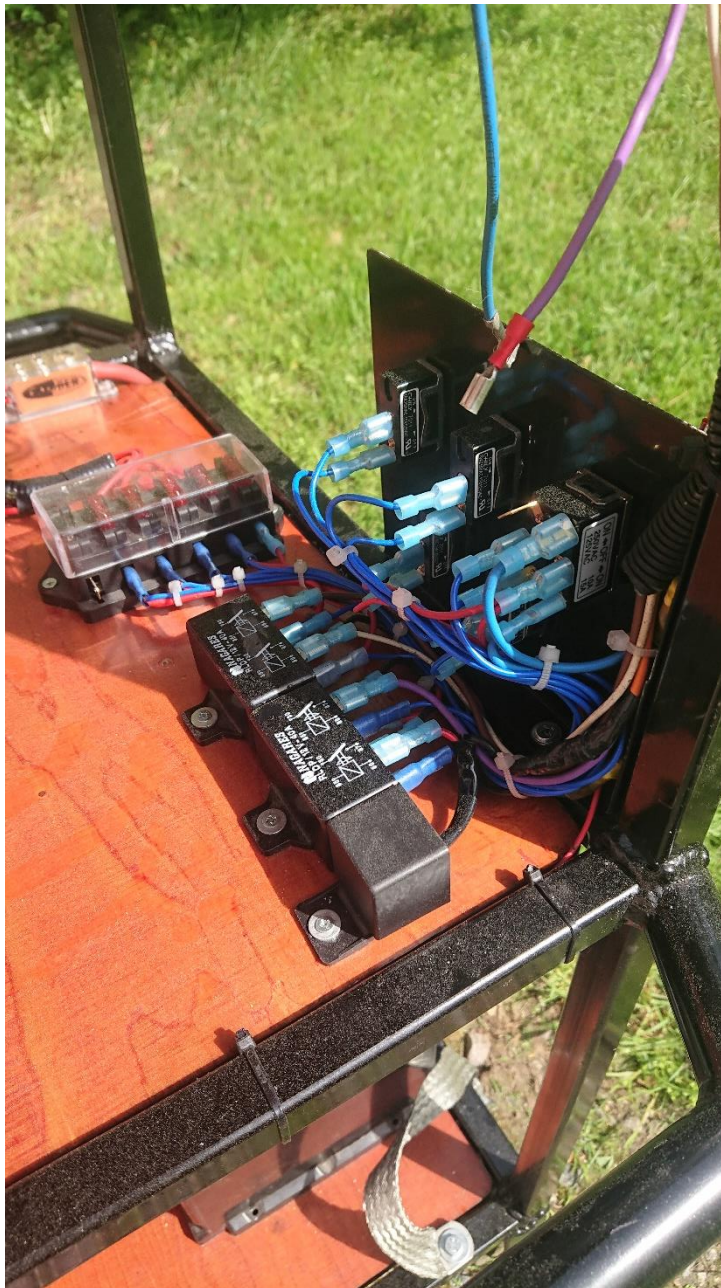
Kuva 15. Ajovalojentestauspöytä valmistettuna



Kuva 16. Ajovalotestauspöytä



Kuva 17. Ajovalotestauspöytä 2



Kuva 18. Ajovalotestauspöydän sähköjärjestelmä

Työ toimii myös erinomaisena ponnahduslautana seuraavalle opinnäytetyön tekijälle. Työ sisältää pohjatiedon ajovalojen ECE-normien mukaisiin mittauksiin. Työtä on mahdollista kehittää edelleen ja tämän työn tekijäkin koki hankaluuksia rajoittaa aiheeseen liittyvän tiedon haalintaa. Työssä käsiteltävät asiat sivuaa useita eri asioita, mikä saa helposti työn paisumaan hallitsemattomasti. Työssä

käsitellyistä LED- ja lasertekniikoista löytyy erittäin paljon tietoa eri lähteistä. Tosin ns. tieteellisen tekstin löytäminen toi haasteita.

Työssä oli tarkoitus toteuttaa myös ECE-normeja mukailevat mittaukset. Ajan rajallisuuden vuoksi tästä jouduttiin luopumaan. Työ rajattiin näin ollen teorial tietoon liittyen valon fysiikkaan, sekä LED- ja lasertekniikan toimintaan ja niiden käyttämiseen ajoneuvotekniikassa. Lisäksi ECE-normien ratkomiseen ajovalotestauksia varten, joista luotiin muunnelmat pienemmän mittakaavan mittauksia varten. Ajovalotestauspöydän suunnittelu ja valmistus toimii käytännön osuutena. Tavoitteisiin päästiin työtä rajattua, mutta alkuperäisiin suunnitelmiin nähden jäi tavoitteet vajanaiseksi.

Työ oli kaikinpuolin varsin mielenkiintoinen. Tiedonhankinta ei tuottanut suurempia ongelmia, koska valikoiduista aiheista löytyi varsin kattavasti ja helposti tietoa. Suuri osa verkkosivuista ei niinkään tieteellisesti asiaa ilmaissut, mutta sisukkaasti selaillessa löytyi tarvittavat määrät tietoa tieteellisestikin kerrottuna. Kirjallisuutta ei niinkään työssä tultu käyttäneeksi. LED- ja lasertekniikka on hyvin lyhyessä ajassa kehittynyt niin vauhdilla, että kyseisiin aiheisiin oli hyvin niukasti painoksia.

LÄHTEET

Motiva Oy. Ei päiväystä. VALOVOIMA – KANDELA. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.02.2018]. Saatavana: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>

Motiva Oy. Ei päiväystä. VALON MÄÄRÄ – LUMEN-ARVO. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.02.2018]. Saatavana: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/lumen-valon-maara/>

Motiva Oy. Ei päiväystä. VALAISTUSVOIMAKKUUS – LUKSI. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.02.2018]. Saatavana: <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus/>

Peltonen, H., Perkkiö, J. & Vierinen, K. 2012. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA osa II, Suomi: Lahden Teho-Opetus Oy

Pixent. 2018. A short explanation of color temperature. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.02.2018] Saatavana: <https://pixent.com/a-short-explanation-of-color-temperature/>

Karttunen, H. Ei päiväystä. Avaruuskulma. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.02.2018]. Saatavana: <http://www.astro.utu.fi/zubi/math/solidang.htm>

Edison Tech Center. 2013. LEDs and OLEDs. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.02.2018] Saatavana: <http://www.edisontechcenter.org/LED.html>

David Darling. 2016. solid state lighting. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.02.2018] Saatavana: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_solid_state_lighting.html

Atlok Oy. 2018. Led-koulu. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.02.2018]. Saatavana: <https://www.atlok.fi/led-koulu>

Spinks, J. 2017. Audi Matrix LED headlight technology: does it work?. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.whichcar.com.au/car-advice/audi-matrix-led-headlight-technology-does-it-work>

Ensto. 2009. Led. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.02.2018]. Saatavana: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>

Suomalainen, O. 2017. LED-valaistus ja sen valintaan vaikuttavat tekijät. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja

- automaatiotekniikka, Sähkövoimatekniikka. Opinnäytetyö. [Viitattu 25.02.2018]. Saatavana: <https://www.theseus.fi/handle/10024/135279>
- Ilmatieteen laitos. Ei päiväystä. Valo ja spektri. [Verkkosivu]. [Viitattu: 25.02.2018]. Saatavana: <http://www.geo.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>
- Bosch. 2003. Autoteknillinen taskukirja. Jyväskylä: Gummurus Oy
- DocPlayer. 2018. 13 LASERIN PERUSTEET. Laser on todennäköisesti tärkein optinen laite, joka on kehitetty viimeisten 50 vuoden aikana. [Verkkosivu]. [Viitattu 08.03.2018]. Saatavana: <http://docplayer.fi/8429834-13-laserin-perusteet-laser-on-todennakoisesti-tarkein-optinen-laite-joka-on-kehitetty-viimeisten-50-vuoden-aikana.html>
- Tecalemit. Ei päiväystä. Maha MLT 3000 digitaalinen ajovalotesteri. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <http://www.tecalemit.fi/tuotteet/tuote-esittely/maha-mlt-3000-digitaalinen-ajovalotesteri/839/>
- Suomen Työkalu Oy. Ei päiväystä. Texa ADAS kalibrointisarja. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.suomentyokalu.fi/korjaamolaitteet/testaus-saato-ja-huolto/tutkien-ja-kameroiden-kalibrointi/txa-adas-kalibrointisarja-p-9213.html>
- Autoglass. 2017. What is ADAS Windscreen Calibration?. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <http://blog.autoglass.ie/adas-windscreen-calibration/>
- TEXA S.p.A. 2017. EN - ADAS cameras calibration solutions. [Video]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.youtube.com/watch?v=CvPRVnm9dMQ>
- TEXA S.p.A. 2017. EN - MAN radar and camera calibration. [Video]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.youtube.com/watch?v=fuVEuZLsYRQ>
- Josamsweden. 2016. Driving (dynamic) calibration of forward looking sensor, FLS. [Video]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.youtube.com/watch?v=1xK3hmq2Rfg>
- Vantaan Sanomat. 12.02.2017. Asiantuntija: Autoja ei enää suunnitella 20 vuoden käyttöä varten – nämä viat voivat tulla kalliiksi. [Verkkolehtiartikkeli]. [Viitattu: 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.vantaansanomat.fi/artikkeli/485605-asiantuntija-autoja-ei-enaa-suunnitella-20-vuoden-kayttoa-varten-nama-viat-voivat>
- Audi AG. 2016. LED headlights. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/lighting-technology/led-headlights>

- OSRAM GmbH. 2018. Laser light for headlights. [Verkkosivu]. [Viitattu 08.03.2018]. Saatavana: <https://www.osram.com/am/specials/trends-in-automotive-lighting/laser-light-new-headlight-technology/index.jsp>
- Gtspirit. 2013. BMW Explains the i8's Advanced Laser Headlights. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.03.2018]. Saatavana: <http://gtspirit.com/2013/12/24/bmw-explains-the-i8s-advanced-laser-headlights/>
- Wasef, B. 2014. How It Works: The BMW i8's Laser Headlights. [Verkkolehtiartikkeli]. Popular Mechanics. [Viitattu 19.03.2018]. Saatavana: <https://www.popularmechanics.com/cars/a10841/how-it-works-the-bmw-i8s-laser-headlights-16905044/>
- Information Technology. 2014. Laser Headlamp unit in AUDI Sport Quattro. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.03.2018]. Saatavana: <https://newsitearth.blogspot.fi/2014/01/laser-headlamp-unit-in-audi-sport.html>
- VerticalScope Inc. 2018. Audi R8 LMX. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.03.2018]. Saatavana: http://fourtitude.com/news/Audi_News_1/gallery-new-audi-r8-lmx-photos-added/attachment/audi-r8-lmx-laserlight-technical-554/
- ResearchGate. 2018. Fig. 1. Vehicle functions and technologies likely to be used for advanced driver assistance systems. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: http://fourtitude.com/news/Audi_News_1/gallery-new-audi-r8-lmx-photos-added/attachment/audi-r8-lmx-laserlight-technical-554/
- Pennwell Corporation. 2010. LED headlights available on another Audi model. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.ledsmagazine.com/articles/2010/01/led-headlights-available-on-another-audi-model.html>
- Beissbarth. 2017. EN I Beissbarth MLD 815 Headlight Tester Training. [Video]. [Viitattu 17.03.2018]. Saatavana: <https://www.youtube.com/watch?v=EOv6yWQ0YrY>
- E/ECE/324/Rev.2/Add.111/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.3. 2013. Addendum 111: Regulation No. 112: Revision 3. Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting an asymmetrical passing-beam or a driving-beam or both and equipped with filament lamps and/or light-emitting diode (LED) modules. [PDF-tiedosto] Geneve: United Nations. [Viitattu 02.04.2018]. Saatavana: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R112r3e.pdf>
- Euroopan unionin virallinen lehti. 2014. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UNECE) sääntö nro 98 – Moottoriajoneuvojen kaasupurkausvalonlähteillä varustettujen ajovalaisimien hyväksyntää koskevat

yhdenmukaiset vaatimukset. [Verkkolähde]. [Viitattu 05.04.2018] Saatavana:
[http://eur-lex.europa.eu/legal-
content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0614\(01\)&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:42014X0614(01)&from=EN)

LIITTEET

Liite 1. ECE-R112-mittauskuvio

Liite 2. Taulukon 1 (ECE-R112) muutostaulukot

Liite 3. Taulukon 2 (ECE-R112) muutostaulukot

Liite 4. Taulukon 3 (ECE-R112) muutostaulukot

Liite 5. ECE-R98-mittauskuvio

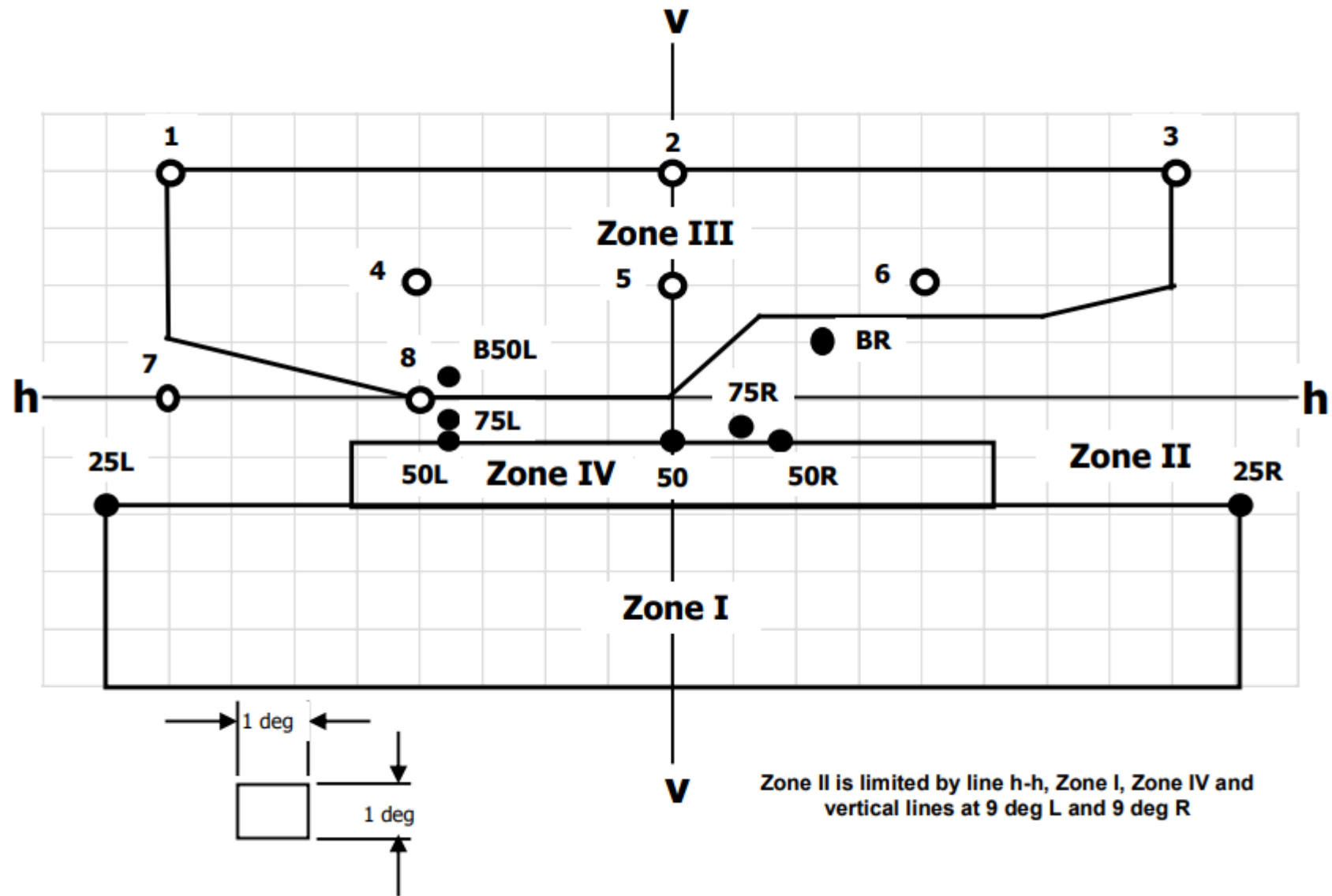
Liite 6. ECE-R98- ja ECE-R112-kaukovalon mittauskuvio

Liite 7. Taulukon 4 (ECE-R98) muutostaulukot

Liite 8. Taulukon 5 (ECE-R98) muutostaulukot

Liite 9. Valaisintestauspöydän piirrustukset

LIITE 1 ECE-R112-mittauskuvio



LIITE 2 Taulukon 1 (ECE-R112) muutostaulukot

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**							Luokan A ajovalo		Luokan B ajovalo	
Mittauspiste			Mittauspiste asteina				Vaadittu valaistus kandeloina		Vaadittu valaistus kandeloina	
							Max	Min	Max	Min
B 50 L			0,57 U	3,43 L			350		350	
BR			1,0 U	2,5 R			1 750		1 750	
75 R			0,57 D	1,15 R				5 100		10 100
75 L			0,57 D	3,43 L			10 600		10 600	
50 L			0,86 D	3,43 L			13 200***		13 200***	
50 R			0,86 D	1,72 R				5 100		10 100
50 V			0,86 D	0						5 100
25 L			1,72 D	9,0 L				1 250		1 700
25 R			1,72 D	9,0 R				1 250		1 700
Mikä tahansa piste alueella III (jota rajoittavat seuraavat koordinaatit asteina)							625		625	
8L	8L	8R	8R	6R	1,5R	V-V				
1U	4U	4U	2U	1,5U	1,5U	H-H				
Mikä tahansa piste alueella IV (0,86 D:stä 1,72 D:hen, 5,15 L:stä 3,15 R:än)								1 700		2 500
Mikä tahansa piste alueella I (1,72 D:stä 4 D:hen, 9 L:stä 9 R:än)							17 600		< 21*	

Huomiot:

Kirjain L tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin vasemmalla puolella.

Kirjain R tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin oikealla puolella.

Kirjain U tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin yläpuolella.

Kirjain D tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin alapuolella.

* Todellinen mitattu arvo pisteessä 50 R ja vastaavasti pisteessä 50 L.

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

*** Siinä tapauksessa, että ajovalaisin, jossa LED-moduulit tuottavat lähivaloa yhdessä elektronisella valonlähteen säätölaitteella, mitattu arvo saa olla enintään

18 500 cd.

Etäisyys m

10

Muuntotaulukko ajovalon ja mittausseinän etäisyyden muutosta varten

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**							Luokan A ajovalo		Luokan B ajovalo	
Mittauspiste		Mittauspisteen sijainti cm					Vaadittu valaistus kandeloina		Vaadittu valaistus kandeloina	
							Max	Min	Max	Min
B 50 L		9,9 U	59,9 L				2 188		2 188	
BR		17,5 U	43,7 R				10 938		10 938	
75 R		9,9 D	20,1 R					31 875		63 125
75 L		9,9 D	59,9 L				66 250		66 250	
50 L		15,0 D	59,9 L				82 500***		82 500***	
50 R		15,0 D	30,0 R					31 875		63 125
50 V		15,0 D	0,0							31 875
25 L		30,0 D	158,4 L					7 813		10 625
25 R		30,0 D	158,4 R					7 813		10 625
Mikä tahansa piste alueella III (jota rajoittavat seuraavat koordinaatit senttimetreinä)							3 906		3 906	
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V				
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H				
Mikä tahansa piste alueella IV (15,0 D:stä 30,0 D:hen, 90,1 L:stä 55,0 R:än)								10 625		15 625
Mikä tahansa piste alueella I (30,0 D:stä 69,9 D:hen, 158,4 L:stä 158,4 R:än)							110 000		< 21*	

Huomiot:

Kirjain L tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin vasemmalla puolella.

Kirjain R tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin oikealla puolella.

Kirjain U tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin yläpuolella.

Kirjain D tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin alapuolella.

* Todellinen mitattu arvo pisteessä 50 R ja vastaavasti pisteessä 50 L.

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

*** Siinä tapauksessa, että ajovalaisin, jossa LED-moduulit tuottavat lähivaloa yhdessä elektronisella valonlähteen säätölaitteella, mitattu arvo saa olla enintään

115 625 cd.

Muuntotaulukko kandeloiden lukseiksi

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**							Luokan A ajovalo		Luokan B ajovalo	
Mittauspiste			Mittauspisteen sijainti cm				Vaadittu valaistus lukseina		Vaadittu valaistus lukseina	
							Max	Min	Max	Min
B 50 L			9,9 U	59,9 L			21,88		21,88	
BR			17,5 U	43,7 R			109,38		109,38	
75 R			9,9 D	20,1 R				318,75		631,25
75 L			9,9 D	59,9 L			662,50		662,50	
50 L			15,0 D	59,9 L			825,00***		825,00***	
50 R			15,0 D	30,0 R				318,75		631,25
50 V			15,0 D	0,0						318,75
25 L			30,0 D	158,4 L				78,13		106,25
25 R			30,0 D	158,4 R				78,13		106,25
Mikä tahansa piste alueella III (jota rajoittavat seuraavat koordinaatit senttimetreinä)							39,06		39,06	
140,5L	140,5L	140,5R	140,5R	105,1R	26,2R	V-V				
17,5U	69,9 U	69,9 U	34,9U	26,2 U	26,2 U	H-H				
Mikä tahansa piste alueella IV (15,0 D:stä 30,0 D:hen, 90,1 L:stä 55,0 R:än)								106,25		156,25
Mikä tahansa piste alueella I (30,0 D:stä 69,9 D:hen, 158,4 L:stä 158,4 R:än)							1 100,00		< 21*	

Huomiot:

Kirjain L tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin vasemmalla puolella.

Kirjain R tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin oikealla puolella.

Kirjain U tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin yläpuolella.

Kirjain D tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin alapuolella.

* Todellinen mitattu arvo pisteessä 50 R ja vastaavasti pisteessä 50 L.

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

*** Siinä tapauksessa, että ajovalaisin, jossa LED-moduulit tuottavat lähivaloa yhdessä elektronisella valonlähteen säätölaitteella, mitattu arvo saa olla enintään

1 156,25 lukseja.

Tyhjä taulukko mittauksia varten

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**							Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste			Mittauspisteen sijainti cm				Mitattu arvo (lx)	Mitattu arvo (lx)
B 50 L			9,9 U	59,9 L				
BR			17,5 U	43,7 R				
75 R			9,9 D	20,1 R				
75 L			9,9 D	59,9 L				
50 L			15,0 D	59,9 L				
50 R			15,0 D	30,0 R				
50 V			15,0 D	0,0				
25 L			30,0 D	158,4 L				
25 R			30,0 D	158,4 R				
Mikä tahansa piste alueella III (jota rajoittavat seuraavat koordinaatit senttimetreinä)								
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V		
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H		
Mikä tahansa piste alueella IV (15,0 D:stä 30,0 D:hen, 90,1 L:stä 55,0 R:än)								
Mikä tahansa piste alueella I (30,0 D:stä 69,9 D:hen, 158,4 L:stä 158,4 R:än)								

Huom.
Luokan
B arvoon
< 21*

Huomiot:

Kirjain L tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin vasemmalla puolella.

Kirjain R tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin oikealla puolella.

Kirjain U tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin yläpuolella.

Kirjain D tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin alapuolella.

* Todellinen mitattu arvo pisteessä 50 R ja vastaavasti pisteessä 50 L.

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

*** Siinä tapauksessa, että ajovalaisin, jossa LED-moduulit tuottavat lähivaloa yhdessä elektronisella valonlähteen säätölaitteella, mitattu arvo saa olla enintään

1 156,25 luksia.

(HUOM! Taulukon paksunnukset vääristyneet)

Muuntotaulukko mitatuista valaistusvoimakkuuksista valovoimiksi

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**							Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste				Mittauspisteen sijainti cm			Mitattu arvo (kandelaa)	Mitattu arvo (kandelaa)
B 50 L				9,9 U	59,9 L			0
BR				17,5 U	43,7 R		0	0
75 R				9,9 D	20,1 R		0	0
75 L				9,9 D	59,9 L		0	0
50 L				15,0 D	59,9 L		0	0
50 R				15,0 D	30,0 R		0	0
50 V				15,0 D	0,0		0	0
25 L				30,0 D	158,4 L		0	0
25 R				30,0 D	158,4 R		0	0
Mikä tahansa piste alueella III (jota rajoittavat seuraavat koordinaatit senttimetreinä)							0	0
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V		
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H		
Mikä tahansa piste alueella IV (15,0 D:stä 30,0 D:hen, 90,1 L:stä 55,0 R:än)							0	0
Mikä tahansa piste alueella I (30,0 D:stä 69,9 D:hen, 158,4 L:stä 158,4 R:än)							0	0

Huom.
Luokan
B arvoon
< 21*

Huomiot:

Kirjain L tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin vasemmalla puolella.

Kirjain R tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee VV-akselin oikealla puolella.

Kirjain U tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin yläpuolella.

Kirjain D tarkoittaa pistettä, joka sijaitsee HH-akselin alapuolella.

* Todellinen mitattu arvo pisteessä 50 R ja vastaavasti pisteessä 50 L.

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

*** Siinä tapauksessa, että ajovalaisin, jossa LED-moduulit tuottavat lähivaloa yhdessä elektronisella valonlähteen säätölaitteella, mitattu arvo saa olla enintään

115 625 cd.

(HUOM! Taulukon paksunnukset vääristyneet)

LIITE 3 Taulukon 2 (ECE-R112) muutostaulukot

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo**		
Mittauspiste	Kulmakoordinaatti asteina	Vaadittu valovoima, kandela (vähintään)
1	4 U, 8 L	Pisteet 1 + 2 + 3 = 190
2	4 U, 0	
3	4 U, 8 R	
4	2 U, 4 L	Pisteet 4 + 5 + 6 = 375
5	2 U, 0	
6	2 U, 4 R	
7	0 , 8 L	65
8	0 , 4 L	125

Huomiot:

** Vasemmanpuoleisen liikenteen ajovalolla kirjain R korvataan kirjaimella L ja päinvastoin.

Etäisyys m	10
-------------------	----

Muuntotaulukko ajovalon ja mittausseinän etäisyyden muutosta varten

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo		
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä	Vaadittu valovoima, kandela (vähintään)
1	69,9 U, 140,5 L	Pisteet 1 + 2 + 3 = 1 188
2	69,9 U, 0,0	
3	69,9 U, 140,5 R	
4	34,9 U, 69,9 L	Pisteet 4 + 5 + 6 = 2 344
5	34,9 U, 0,0	
6	34,9 U, 69,9 R	
7	0,0 , 140,5 L	406
8	0,0 , 69,9 L	781

Muuntotaulukko kandeloiden lukseiksi

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo			
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä		Vaadittu valaistusvoimakkuus, luksia (vähintään)
1	69,9 U,	140,5 L	Pisteet 1 + 2 + 3 = 11,88
2	69,9 U,	0,0	
3	69,9 U,	140,5 R	
4	34,9 U,	69,9 L	Pisteet 4 + 5 + 6 = 23,44
5	34,9 U,	0,0	
6	34,9 U,	69,9 R	
7	0,0 ,	140,5 L	4,06
8	0,0 ,	69,9 L	7,81

Tyhjä taulukko mittauksia varten

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo			
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä		Mitattu arvo (lx)
1	69,9 U,	140,5 L	Yht.
2	69,9 U,	0,0	0,00
3	69,9 U,	140,5 R	
4	34,9 U,	69,9 L	Yht.
5	34,9 U,	0,0	0,00
6	34,9 U,	69,9 R	
7	0,0 ,	140,5 L	
8	0,0 ,	69,9 L	

(HUOM! Taulukon paksunnukset vääristyneet)

Muuntotaulukko mitatuista valaistusvoimakkuuksista valovoimiksi

Oikeanpuoleisen liikenteen ajovalo			
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä	Mitattu arvo (cd)	
1	69,9 U, 140,5 L	0	Yht.
2	69,9 U, 0,0	0	0
3	69,9 U, 140,5 R	0	
4	34,9 U, 69,9 L	0	Yht.
5	34,9 U, 0,0	0	0
6	34,9 U, 69,9 R	0	
7	0,0 , 140,5 L	0	
8	0,0 , 69,9 L	0	

(HUOM! Taulukon paksunnukset vääristyneet)

LIITE 4 Taulukon 3 (ECE-R112) muutostaulukot

		Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste	Kulmakoordinaatti asteina	Vaadittu valovoima, kandelaar	Vaadittu valovoima, kandelaar
		Min	Min
I _{max}		27 000	40 500
H - 5 L	0,0 , 5,0 L	3 400	5 100
H - 2.5 L	0,0 , 2,5 L	13 500	20 300
H - 2.5 R	0,0 , 2,5 R	13 500	20 300
H - 5 R	0,0 , 5,0 R	3 400	5 100

Muuntotaulukko ajovalon ja mittausseinän etäisyyden muutosta varten

Etäisyys m	10
-------------------	----

		Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä	Vaadittu valovoima, kandelaar	Vaadittu valovoima, kandelaar
		Min	Min
I _{max}		168 750	253 125
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	21 250	31 875
H - 2.5 L	0,0 , 43,7 L	84 375	126 875
H - 2.5 R	0,0 , 43,7 R	84 375	126 875
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	21 250	31 875

Muuntotaulukko kandeloiden lukseiksi

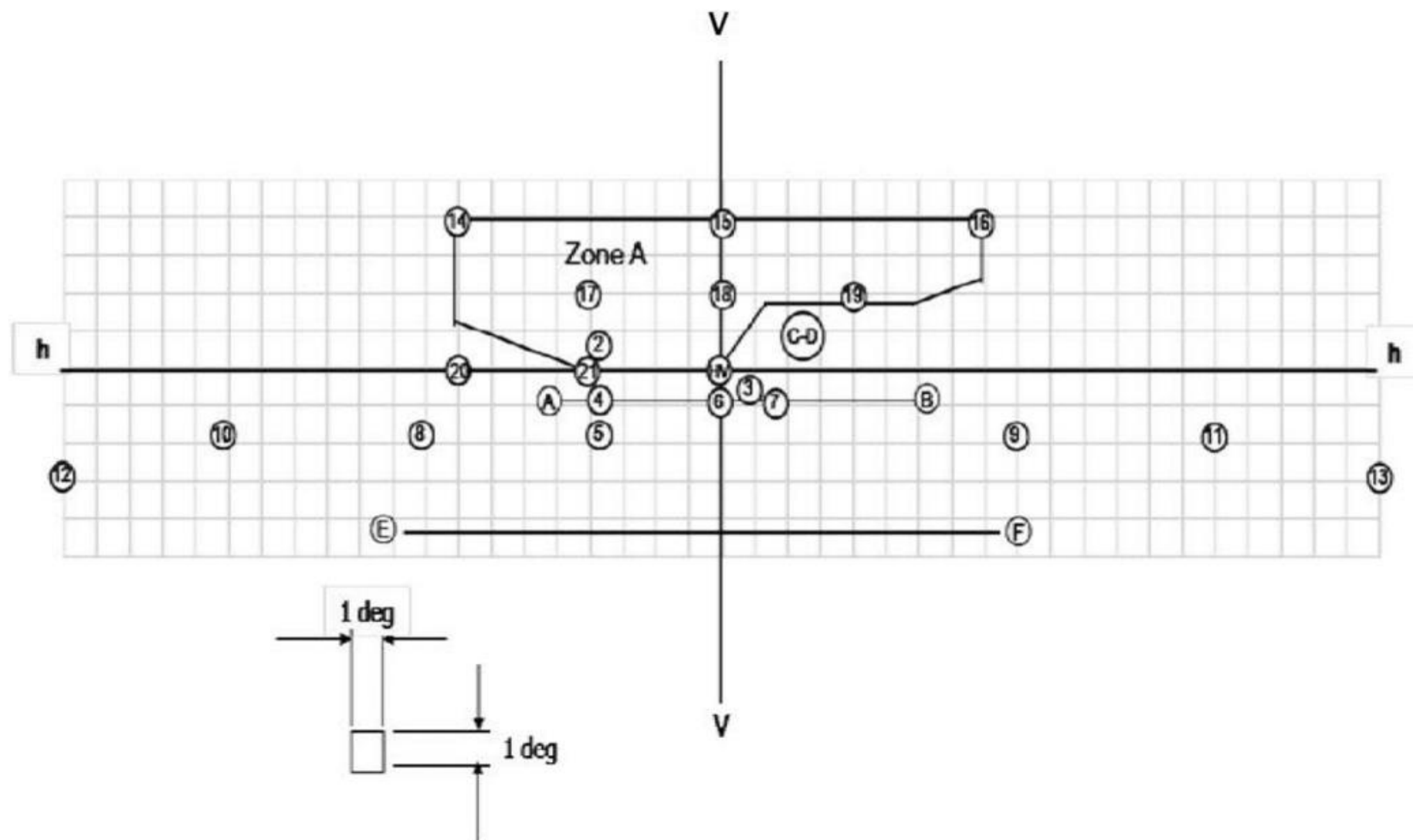
		Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä	Vaadittu valaistusvoimakkuus, luksia	Vaadittu valaistusvoimakkuus, luksia
		Min	Min
I _{max}		1 687,50	2 531,25
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	212,50	318,75
H - 2.5 L	0,0 , 43,7 L	843,75	1 268,75
H - 2.5 R	0,0 , 43,7 R	843,75	1 268,75
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	212,50	318,75

Tyhjä taulukko mittauksia varten

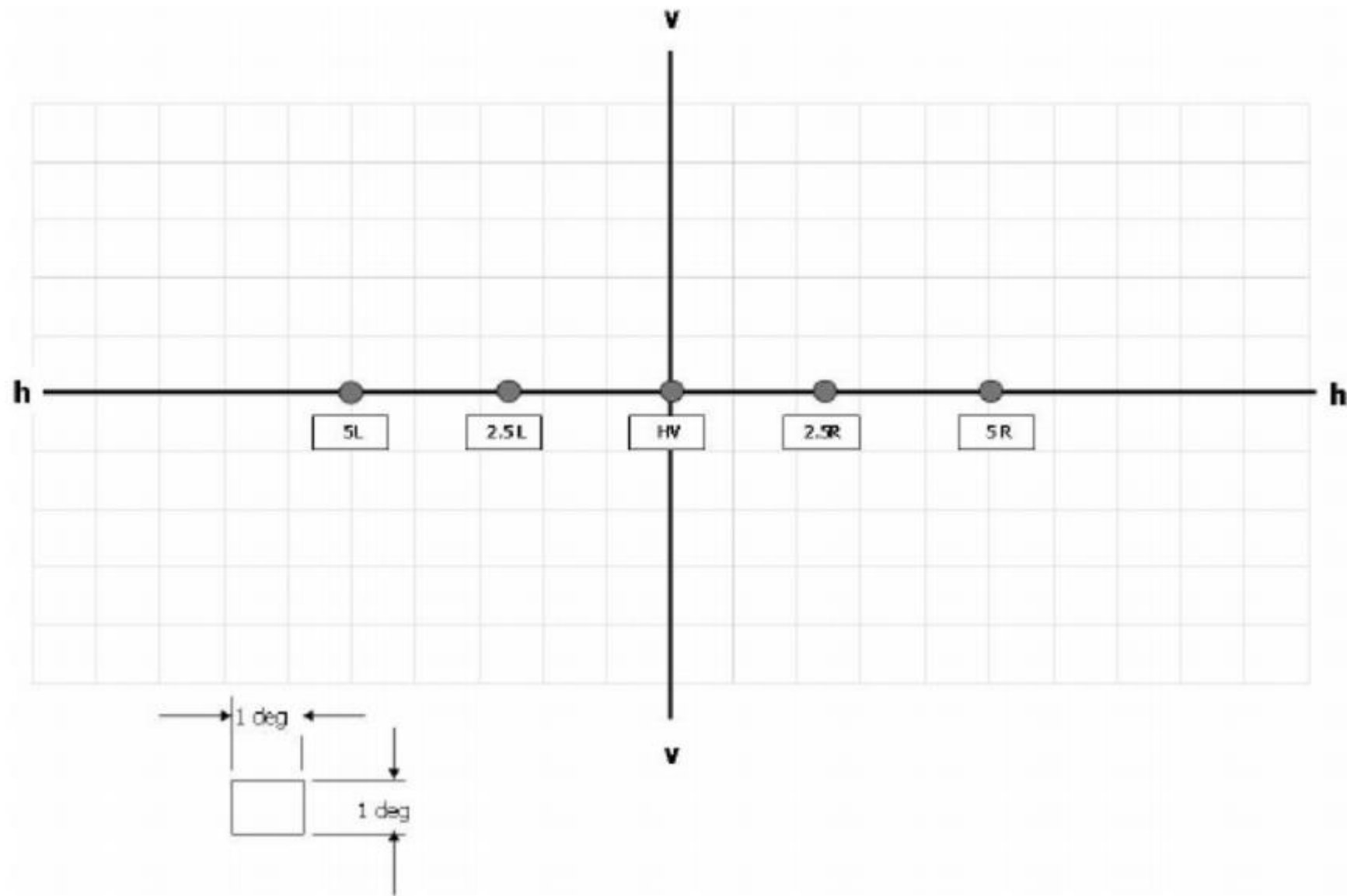
		Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä	Mitattu arvo (lx)	Mitattu arvo (lx)
I _{max}			
H - 5 L	0,0 , 87,5 L		
H - 2.5 L	0,0 , 43,7 L		
H - 2.5 R	0,0 , 43,7 R		
H - 5 R	0,0 , 87,5 R		

Muuntotaulukko mitatuista valaistusvoimakkuuksista valovoimiksi

		Luokan A ajovalo	Luokan B ajovalo
Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti senttimetreinä	Mitattu arvo (cd)	Mitattu arvo (cd)
I _{max}		0	0
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	0	0
H - 2.5 L	0,0 , 43,7 L	0	0
H - 2.5 R	0,0 , 43,7 R	0	0
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	0	0



LIITE 6 ECE-R98- ja ECE-R112-kaukovalon mittauskuvio



LIITE 7 Taulukon 4 (ECE-R98) muutostaulukot

Piste tai segmentti				Nimi (**)				Valovoima (cd)		Vaakakulma (astetta)	Pystyikulma (astetta)
								Max	Min		
Kaikki pisteet alueella A (seuraavien koordinaattien rajaama - astetta)								625			
8 L	8 L	8 R	8 R	6 R	1,5 R	V-V	4 L				
1 U	4 U	4 U	2 U	1,5 U	1,5 U	H-H	H-H				
2				B 50 L				350		3,43 L	0,57 U
3				75 R					12 500	1,15 R	0,57 D
4				50 L				18 480		3,43 L	0,86 D
5				25 L1				18 800		3,43 L	1,72 D
6				50 V					7 500	0	0,86 D
7				50 R					12 500	1,72 R	0,86 D
8				25 L2					2 500	9 L	1,72 D
9				25 R1					2 500	9 R	1,72 D
10				25 L3					1 250	15 L	1,72 D
11				25 R2					1 250	15 R	1,72 D
12				15 L					625	20 L	2,86 D
13				15 R					625	20 R	2,86 D
14									(*)	8 L	4 U
15									(*)	0	4 U
16									(*)	8 R	4 U
17									(*)	4 L	2 U
18									(*)	0	2 U
19									(*)	4 R	2 U
20									65	8 R	0
21									125	4 L	0
A-B				Segmentti I					3 750	5,15 L - 5,15 R	0,86 D
C-D								1 750		2,5 R	1 U
E-F				Segmentti III ja alapuolella				12 500		9,37 L - 8,53 R	4,29 D
				E max R				43 800		Suoran V-V oikealla puolella	Yli 1,72 D
				E max L				31 300		Suoran V-V vasemmalla puolella	

Huomautus: Taulukon merkintöjen selitykset:

Kirjain L osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V vasemmalla puolella.

Kirjain R osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V oikealla puolella.

Kirjain U osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H yläpuolella.

Kirjain D osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H alapuolella.

(*) Valaistusarvojen pisteissä 14-19 on oltava sellaiset, että

$$14 + 15 + 16 \geq 190 \text{ cd ja}$$

$$17 + 18 + 19 \geq 375 \text{ cd.}$$

(**) Kirjaimen R asemasta käytetään vasemmanpuoleisen liikenteen osalta kirjainta L ja päinvastoin.

Muuntotaulukko ajovalon ja mittausseinän etäisyyden muutosta varten

Etäisyys m		10											
Piste tai segmentti				Nimi (**)				Valovoima (cd)		Vaakakulma (cm)	Pystykulma (cm)		
								Max	Min				
Kaikki pisteet alueella A (seuraavien koordinaattien rajaama - senttimetriä)								3 906					
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V	69,9 L						
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H	H-H						
2				B 50 L				2 188		59,9 L	9,9 U		
3				75 R					78 125	20,1 R	9,9 D		
4				50 L				115 500		59,9 L	15,0 D		
5				25 L1				117 500		59,9 L	30,0 D		
6				50 V					46 875	0,0	15,0 D		
7				50 R					78 125	30,0 R	15,0 D		
8				25 L2					15 625	158,4 L	30,0 D		
9				25 R1					15 625	158,4 R	30,0 D		
10				25 L3					7 813	267,9 L	30,0 D		
11				25 R2					7 813	267,9 R	30,0 D		
12				15 L					3 906	364,0 L	50,0 D		
13				15 R					3 906	364,0 R	50,0 D		
14									(*)	140,5 L	69,9 U		
15									(*)	0,0	69,9 U		
16									(*)	140,5 R	69,9 U		
17									(*)	69,9 L	34,9 U		
18									(*)	0,0	34,9 U		
19									(*)	69,9 R	34,9 U		
20									406	140,5 R	0,0		
21									781	69,9 L	0,0		
A-B				Segmentti I					23 438	90,1 L - 90,1 R	15,0 D		
C-D								10 938		43,7 R	17,5 U		
E-F				Segmentti III ja alapuolella				78 125		165,0 L - 150,0 R	75,0 D		
				E max R				273 750		Suoran V-V oikealla	Yli 30,0 D		
				E max L				195 625		Suoran V-V vasemmalla			

Huomautus: Taulukon merkintöjen selitykset:

Kirjain L osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V vasemmalla puolella.

Kirjain R osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V oikealla puolella.

Kirjain U osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H yläpuolella.

Kirjain D osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H alapuolella.

(*) Valaistusarvojen pisteissä 14-19 on oltava sellaiset, että

$$14 + 15 + 16 \geq 1188 \text{ cd ja}$$

$$17 + 18 + 19 \geq 2344 \text{ cd.}$$

(**) Kirjaimen R asemasta käytetään vasemmanpuoleisen liikenteen osalta kirjainta L ja päinvastoin.

Muuntotaulukko kandeloista lukseiksi

Piste tai segmentti				Nimi (**)				Val.voim. (Ix)		Vaakakulma (cm)	Pystyikulma (cm)
								Max	Min		
Kaikki pisteet alueella A (seuraavien koordinaattien rajaama - senttimetriä)								39			
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V	69,9 L				
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H	H-H				
2				B 50 L				21,88		59,9 L	9,9 U
3				75 R					781,25	20,1 R	9,9 D
4				50 L				1 155,00		59,9 L	15,0 D
5				25 L1				1 175,00		59,9 L	30,0 D
6				50 V					468,75	0,0	15,0 D
7				50 R					781,25	30,0 R	15,0 D
8				25 L2					156,25	158,4 L	30,0 D
9				25 R1					156,25	158,4 R	30,0 D
10				25 L3					78,13	267,9 L	30,0 D
11				25 R2					78,13	267,9 R	30,0 D
12				15 L					39,06	364,0 L	50,0 D
13				15 R					39,06	364,0 R	50,0 D
14									(*)	140,5 L	69,9 U
15									(*)	0,0	69,9 U
16									(*)	140,5 R	69,9 U
17									(*)	69,9 L	34,9 U
18									(*)	0,0	34,9 U
19									(*)	69,9 R	34,9 U
20									4,06	140,5 R	0,0
21									7,81	69,9 L	0,0
A-B				Segmentti I					234,38	90,1 L - 90,1 R	15,0 D
C-D								109,38		43,7 R	17,5 U
E-F				Segmentti III ja alapuolella				781,25		165,0 L - 150,0 R	75,0 D
				E max R				2 737,50		Suoran V-V oikealla	Yli 30,0 D
				E max L				1 956,25		Suoran V-V vasemmalla	

Huomautus: Taulukon merkintöjen selitykset:

Kirjain L osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V vasemmalla puolella.

Kirjain R osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V oikealla puolella.

Kirjain U osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H yläpuolella.

Kirjain D osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H alapuolella.

(*) Valaistusarvojen pisteissä 14-19 on oltava sellaiset, että

14 + 15 + 16 ≥ 11,88 luksia ja

17 + 18 + 19 ≥ 23,44 luksia.

(**) Kirjaimen R asemasta käytetään vasemmanpuoleisen liikenteen osalta kirjainta L ja päinvastoin.

Tyhjä taulukko mittauksia varten

Piste tai segmentti				Nimi (**)				Mitattu val.voim. (lx)		Vaakakulma (cm)	Pystykulma (cm)
Kaikki pisteet alueella A (seuraavien koordinaattien rajaama - senttimetriä)											
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V	69,9 L				
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H	H-H				
2				B 50 L						59,9 L	9,9 U
3				75 R						20,1 R	9,9 D
4				50 L						59,9 L	15,0 D
5				25 L1						59,9 L	30,0 D
6				50 V						0,0	15,0 D
7				50 R						30,0 R	15,0 D
8				25 L2						158,4 L	30,0 D
9				25 R1						158,4 R	30,0 D
10				25 L3						267,9 L	30,0 D
11				25 R2						267,9 R	30,0 D
12				15 L						364,0 L	50,0 D
13				15 R						364,0 R	50,0 D
14									Yht.	140,5 L	69,9 U
15									0,00	0,0	69,9 U
16										140,5 R	69,9 U
17									Yht.	69,9 L	34,9 U
18									0,00	0,0	34,9 U
19										69,9 R	34,9 U
20										140,5 R	0,0
21										69,9 L	0,0
A-B				Segmentti I						90,1 L - 90,1 R	15,0 D
C-D										43,7 R	17,5 U
E-F				Segmentti III ja alapuolella						165,0 L - 150,0 R	75,0 D
				E max R						Suoran V-V oikealla	Yli 30,0 D
				E max L						Suoran V-V vasemmalla	

Huomautus: Taulukon merkintöjen selitykset:

Kirjain L osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V vasemmalla puolella.

Kirjain R osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V oikealla puolella.

Kirjain U osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H yläpuolella.

Kirjain D osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H alapuolella.

(*) Valaistusarvojen pisteissä 14-19 on oltava sellaiset, että

$$14 + 15 + 16 \geq 11,88 \text{ luksia ja}$$

$$17 + 18 + 19 \geq 23,44 \text{ luksia.}$$

(**) Kirjaimen R asemasta käytetään vasemmanpuoleisen liikenteen osalta kirjainta L ja päinvastoin.

(HUOM! Taulukon paksunnukset vääristyneet)

Muuntotaulukko mitatuista valaistusvoimakkuuksista valovoimiksi

Piste tai segmentti				Nimi (**)				Mitattu valovoima (cd)		Vaakakulma (cm)	Pystykulma (cm)
Kaikki pisteet alueella A (seuraavien koordinaattien rajaama - senttimetriä)								0			
140,5 L	140,5 L	140,5 R	140,5 R	105,1 R	26,2 R	V-V	69,9 L				
17,5 U	69,9 U	69,9 U	34,9 U	26,2 U	26,2 U	H-H	H-H				
2				B 50 L				0		59,9 L	9,9 U
3				75 R				0		20,1 R	9,9 D
4				50 L				0		59,9 L	15,0 D
5				25 L1				0		59,9 L	30,0 D
6				50 V				0		0,0	15,0 D
7				50 R				0		30,0 R	15,0 D
8				25 L2				0		158,4 L	30,0 D
9				25 R1				0		158,4 R	30,0 D
10				25 L3				0		267,9 L	30,0 D
11				25 R2				0		267,9 R	30,0 D
12				15 L				0		364,0 L	50,0 D
13				15 R				0		364,0 R	50,0 D
14								0	Yht.	140,5 L	69,9 U
15								0	0,00	0,0	69,9 U
16								0		140,5 R	69,9 U
17								0	Yht.	69,9 L	34,9 U
18								0	0,00	0,0	34,9 U
19								0		69,9 R	34,9 U
20								0		140,5 R	0,0
21								0		69,9 L	0,0
A-B				Segmentti I				0		90,1 L - 90,1 R	15,0 D
C-D								0		43,7 R	17,5 U
E-F				Segmentti III ja alapuolella				0		165,0 L - 150,0 R	75,0 D
				E max R				0		Suoran V-V oikealla	Yli 30,0 D
				E max L				0		Suoran V-V vasemmalla	

Huomautus: Taulukon merkintöjen selitykset:

Kirjain L osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V vasemmalla puolella.

Kirjain R osoittaa, että piste tai segmentti on suoran V-V oikealla puolella.

Kirjain U osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H yläpuolella.

Kirjain D osoittaa, että piste tai segmentti on suoran H-H alapuolella.

(*) Valaistusarvojen pisteissä 14-19 on oltava sellaiset, että

$$14 + 15 + 16 \geq 1\,188 \text{ cd ja}$$

$$17 + 18 + 19 \geq 2\,344 \text{ cd.}$$

(**) Kirjaimen R asemasta käytetään vasemmanpuoleisen liikenteen osalta kirjainta L ja päinvastoin.

(HUOM! Taulukon paksunnukset vääristyneet)

LIITE 8 Taulukon 5 (ECE-R98) muutostaulukot

Testauspiste	Kulmakoordinaatit (astetta)	Vaadittava valovoima (cd)
		Min
H - 5 L	0 , 5,0 L	6 250
H - 2,5 L	0 , 2,5 L	25 000
H - 2,5 R	0 , 2,5 R	25 000
H - 5 R	0 , 5,0 R	6 250

Muuntotaulukko ajovalon ja mittausseinän etäisyyden muutosta varten

Etäisyys m	10	
Testauspiste	Koordinaatit (senttimetriä)	Vaadittava valovoima (cd)
		Min
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	39 063
H - 2,5 L	0,0 , 43,7 L	156 250
H - 2,5 R	0,0 , 43,7 R	156 250
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	39 063

Muuntotaulukko kandeloiden lukseiksi

Testauspiste	Koordinaatit (senttimetriä)	Vaadittava val.voim. (lx)
		Min
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	390,63
H - 2,5 L	0,0 , 43,7 L	1 562,50
H - 2,5 R	0,0 , 43,7 R	1 562,50
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	390,63

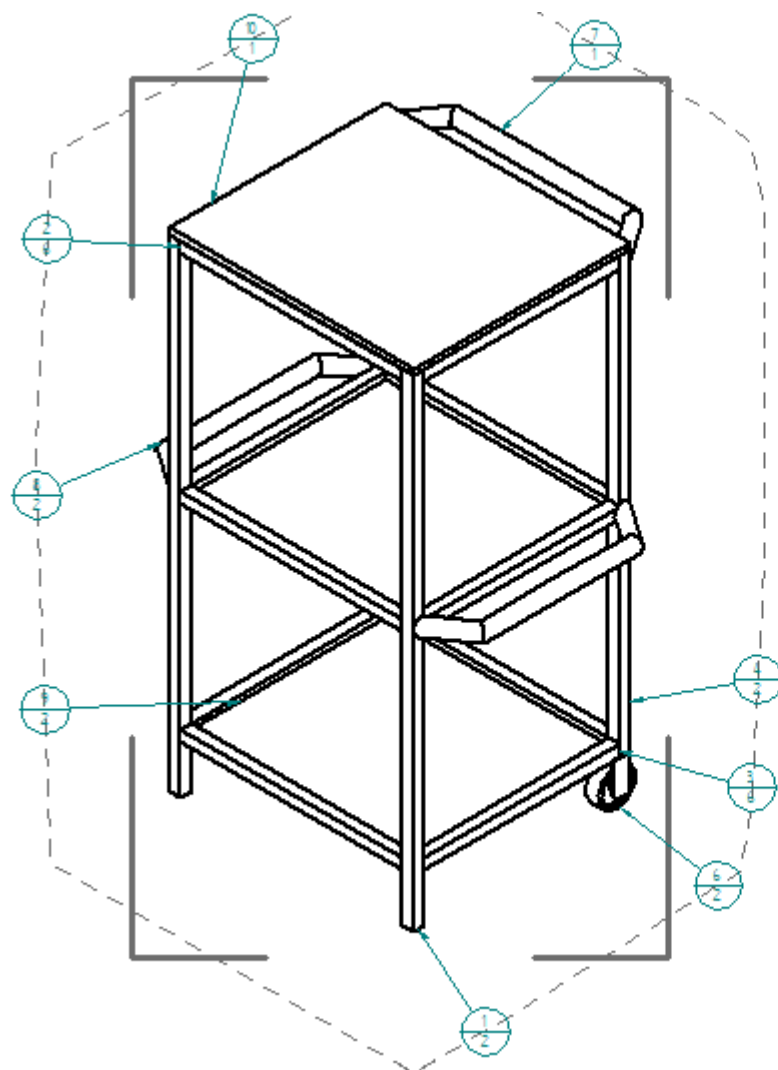
Tyhjä taulukko mittauksia varten

Testauspiste	Koordinaatit (senttimetriä)	Mitattu valaistusvoimakkuus (lx)
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	
H - 2,5 L	0,0 , 43,7 L	
H - 2,5 R	0,0 , 43,7 R	
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	

Muuntotaulukko mitatuista valaistusvoimakkuuksista valovoimiksi

Testauspiste	Koordinaatit (senttimetriä)	Mitattu valovoima (cd)
H - 5 L	0,0 , 87,5 L	0
H - 2,5 L	0,0 , 43,7 L	0
H - 2,5 R	0,0 , 43,7 R	0
H - 5 R	0,0 , 87,5 R	0

LIITE 9 Valaisintestauspöydän piirrustukset



Item Number	File Name (no extension)	Quantity
1	jalka 89cm	2
2	tasoputki 41cm	6
3	tasoputki 36cm	6
4	jalka 80cm	2
5*	tukipala välikansille	12
6	pyörä	2
7	vetokahva	1
8	kantokahva	2
9	välitaso	2
10	kansi	1

